



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

보건학석사 학위논문

계절 및 습도 수준에 따른
대기오염의 사망 영향 분석
(서울, 상하이, 도쿄를 대상으로)

The seasonal and humidity dependence
on the effects of air pollution on mortality
in Seoul, Shanghai and Tokyo

2015년 2월

서울대학교 보건대학원
보건학과 보건통계학전공
오석현

계절 및 습도 수준에 따른
대기오염의 사망 영향 분석
(서울, 상하이, 도쿄를 대상으로)

지도교수 김 호

이 논문을 보건학 석사학위논문으로 제출함

2014년 10월

서울대학교 보건대학원
보건학과 보건통계학전공
오석현

오석현의 석사학위논문을 인준함

2014년 12월

위원장	이	승	목	(인)
부위원장	성	주	현	(인)
위원	김		호	(인)

초록

서울대학교 보건대학원

보건학과 보건통계학 전공

오석현

<배경>

대기오염이 인체 건강에 미치는 영향은 다양한 실제 사례와 연구를 통해 잘 알려져 있다. 1948년 미국 펜실베이니아주 대기오염사고, 1952년 런던 스모그는 대기오염이 인체에 어떤 영향을 미치는지 보여 주는 대표적인 사례이다. 또한 (W.Dockery 1993, C Arden Pope III 2002)에서는 대기오염이 사망 및 상병에 부정적인 영향이 있음을 보였다. 대기오염의 건강 영향을 조정하는 요인은 나이, 성별, 사회 경제 수준 등으로 다양하다. 그 중에서도 계절과 습도 또한 대기오염의 건강 영향을 조정하는 것으로 알려져 있다. (Okhee Yi 2010)에서는 서울에서 PM₁₀의 사망 및 상병에 대한 영향이 계절마다 다르며, 여름에 그 영향이 유의하게 증가함을 보였다. (Kan, London et al. 2008)에서는 상하이를 대상으로 대기오염 건강 영향의 계절 변동을 살펴보았는데, 추운 계절에 대기오염의 건강 영향이 부정적이었다. (Katsouyanni September 2001)에서는 총 사망에 대한 PM₁₀의 영향이 덥고 건조한 나라에서 더 크게 나타났다. 이렇게 기존 선행 연구들에서는 계절, 습도 수준이 대기오염 사망 조정 요인임을 보이고 있으나 본 연구의 대상지인 서울, 상하이, 도쿄 세 도시에 대해서는 계절 및 습도 수준에 따른 대기오염의 사망 영향 분석이 구체적으로 이루어지고 있지 않아 해당 연구가 필요하다고 판단하였다.

<목적>

본 연구에서는 서울, 상하이, 도쿄 3개 도시를 대상으로 계절 및 습도 수준에 따라 4종류의 대기오염물질(PM₁₀($\mu\text{g}/\text{m}^3$), NO₂(ppb), O₃(ppb), SO₂(ppb))이 비사고 사망에 미치는 영향이 다른지를 보고자 한다. 연구 가설은 크게 3가지로 구분할 수 있다.

첫 번째, 계절에 따라 대기오염의 사망 영향이 다르다.

두 번째, 습도 수준에 따라 대기오염의 사망 영향이 다르다.

세 번째, 계절 내 습도 수준에 따라 대기오염의 사망 영향이 다르다.

<방법>

분석은 자료가 시계열 형태인 관계로 포아송 분포를 가정한 일반화 가법 모형(GAM : Generalized Additive Model)의 시계열 분석이 이루어졌다. 분석 시 대기오염 농도는 각 오염물질 별로 0~5일까지의 단일 이전 값과 (single lag value)와 0~5일까지의 이전 이동평균 값 (moving average value)을 사용하였다.

<결과>

서울의 경우 PM_{10} , SO_2 가 사망에 미치는 영향은 습한 여름에 컸다. O_3 가 사망에 미치는 영향은 건조한 여름에 유의하였다. NO_2 의 단일 지연 사망 영향(single lag mortality effects)은 건조한 여름에 유의하고 컸으나 평균 지연 사망 영향(moving average mortality effects)은 건조한 겨울에 가장 컸다.

상하이의 경우 계절 별로 대기오염 사망 영향을 보았을 때 겨울에 그 값이 컸다. 해당 결과는 (Kan, London et al. 2008)의 결과와 일치한다. 계절과 더불어 습도 수준까지 고려한 경우에 PM_{10} 의 사망 영향은 건조한 여름에, O_3 의 사망 영향은 건조한 겨울에 유의하였다.

도쿄에서는 O_3 을 제외한 대기오염물질의 사망 영향이 여름에 주로 컸으며 O_3 의 사망 영향은 건조한 겨울에 유의하였다. 도쿄는 다른 대기오염물질에 비해 O_3 의 사망 영향이 더 두드러졌다.

<결론>

이번 연구는 아시아 3개 도시의 대기오염에 대한 사망 영향이 계절과 습도 수준에 따라 어떻게 다른지를 다룬 연구로 분석 결과, 계절과 습도 수준 모두 대기오염의 사망 영향 조정 요인임을 알 수 있었다. 다만 각 도시 별로 기상 특성이 달라 같은 계절과 같은 습도 수준이더라도 대기오염의 사망 영향은 도시마다 다르게 나타났다. 이번 연구의 결과는 특정 기상 조건에서의 대기오염 건강 영향에 관한 정보와 대기오염의 건강 영향 평가에 있어 계절과 습도의 상호작용에 대한 정보를 제공할 것으로 기대된다. 따라서 본 연구 결과는 대기오염과 관련된 건강문제 예방 및 관리 정책에 근거를 제공하는 자료로서 활용 가능하다.

주요어 : 계절, 습도, 대기오염, 사망

학번 : 2013-21868

목차

초록.....	i
그림 목차.....	vi
표 목차.....	viii
제 1 장 서론.....	1
1.1 연구 배경 및 필요성.....	1
1.2 연구 목적.....	3
제 2 장 연구방법.....	4
2.1 연구자료.....	4
2.1.1 연구자료 기간.....	4
2.1.2 사망 자료.....	4
2.1.3 기상자료.....	4
2.1.4 대기오염 자료.....	5
2.2 통계적 분석 방법.....	5
2.2.1 기본 모형.....	5
2.2.2 가설.....	7
2.2.3 초과 상대 위험도.....	7
3. 결과.....	8
3.1. 기술통계량.....	8
3.2 계절별 대기오염 사망 영향.....	17
3.3 습도 수준별 대기오염 사망 영향.....	24
3.4 계절 내 습도수준 별 대기오염 사망 영향.....	31
4. 결론 및 고찰.....	43
부록.....	48
사사.....	52

참고문헌.....	53
Abstract.....	55

그림 목차

FIGURE 1. SEASONAL DAILY DEATH COUNTS IN 3 CITIES.....	11
FIGURE 2. SEASONAL PM ₁₀ (MG/M3) CONCENTRATIONS BY 3 CITIES.....	12
FIGURE 3. SEASONAL NO ₂ (PPB) CONCENTRATIONS BY 3 CITIES	13
FIGURE 4. SEASONAL O ₃ (PPB) CONCENTRATIONS BY 3 CITIES	14
FIGURE 5. SEASONAL SO ₂ (PPB) CONCENTRATIONS BY 3 CITIES	15
FIGURE 6. EFFECTS OF AIR POLLUTION ON MORTALITY BY SEASON FOR A IQR	
INCREMENT OF POLLUTANT CONCENTRATION IN SEOUL	19
FIGURE 7. EFFECTS OF AIR POLLUTION ON MORTALITY BY SEASON FOR A IQR	
INCREMENT OF POLLUTANT CONCENTRATION IN SHANGHAI	21
FIGURE 8. EFFECTS OF AIR POLLUTION ON MORTALITY BY SEASON FOR A IQR	
INCREMENT OF POLLUTANT CONCENTRATION IN TOKYO	23
FIGURE 9. EFFECTS OF AIR POLLUTION ON MORTALITY BY HUMIDITY LEVEL FOR A IQR	
INCREMENT OF POLLUTANT CONCENTRATION IN SEOUL	26
FIGURE 10. EFFECTS OF AIR POLLUTION ON MORTALITY BY HUMIDITY LEVEL FOR A IQR	
INCREMENT OF POLLUTANT CONCENTRATION IN SHANGHAI	28
FIGURE 11. EFFECTS OF AIR POLLUTION ON MORTALITY BY HUMIDITY LEVEL FOR A IQR	
INCREMENT OF POLLUTANT CONCENTRATION IN TOKYO	30
FIGURE 12. LAG EFFECTS OF AIR POLLUTION ON MORTALITY BY SEASON HUMIDITY FOR	
A IQR INCREMENT OF POLLUTANT CONCENTRATION IN SEOUL	34
FIGURE 13. MOVING AVERAGE EFFECTS OF AIR POLLUTION ON MORTALITY BY SEASON	
HUMIDITY FOR A IQR INCREMENT OF POLLUTANT CONCENTRATION IN SEOUL	36
FIGURE 14. LAG EFFECTS OF AIR POLLUTION ON MORTALITY BY SEASON HUMIDITY FOR	
A IQR INCREMENT OF POLLUTANT CONCENTRATION IN SHANGHAI.....	38

FIGURE 15. MOVING AVERAGE EFFECTS OF AIR POLLUTION ON MORTALITY BY SEASON HUMIDITY FOR A IQR INCREMENT OF POLLUTANT CONCENTRATION IN SHANGHAI	39
FIGURE 16. LAG EFFECTS OF AIR POLLUTION ON MORTALITY BY SEASON HUMIDITY FOR A IQR INCREMENT OF POLLUTANT CONCENTRATION IN TOKYO	41
FIGURE 17. MOVING AVERAGE EFFECTS OF POLLUTION ON MORTALITY WITH IQR INCREMENT OF POLLUTANT CONCENTRATION IN TOKYO	42
FIGURE 18. DOSE-RESPONSE CURVE BETWEEN MORTALITY AND O ₃ (DAILY MAX VALUE) BY SEASON IN SHANGHAI AND TOKYO	47

표 목차

TABLE 1 DESCRIPTIVE STATISTICS FOR N, DEATH, PM ₁₀ , NO ₂ , O ₃ , SO ₂ , TEMPERATURE, HUMIDITY	9
TABLE 2 EFFECTS OF AIR POLLUTION ON MORTALITY BY SEASON FOR A IQR INCREMENT OF POLLUTANT CONCENTRATION IN SEOUL	18
TABLE 3 EFFECTS OF AIR POLLUTION ON MORTALITY BY SEASON FOR A IQR INCREMENT OF POLLUTANT CONCENTRATION IN SHANGHAI.....	20
TABLE 4. EFFECTS OF AIR POLLUTION ON MORTALITY BY SEASON FOR A IQR INCREMENT OF POLLUTANT CONCENTRATION IN TOKYO	22
TABLE 5 EFFECTS OF AIR POLLUTION ON MORTALITY BY HUMIDITY LEVEL FOR A IQR INCREMENT OF POLLUTANT CONCENTRATION IN SEOUL	25
TABLE 6 EFFECTS OF AIR POLLUTION ON MORTALITY BY HUMIDITY LEVEL FOR A IQR INCREMENT OF POLLUTANT CONCENTRATION IN SHANGHAI	27
TABLE 7 EFFECTS OF AIR POLLUTION ON MORTALITY BY HUMIDITY LEVEL FOR A IQR INCREMENT OF POLLUTANT CONCENTRATION IN TOKYO	29
TABLE 8 EFFECTS OF AIR POLLUTION ON MORTALITY BY SEASON HUMIDITY FOR A IQR INCREMENT OF POLLUTANT CONCENTRATION IN SEOUL	32
TABLE 9 EFFECTS OF AIR POLLUTION ON MORTALITY BY SEASON HUMIDITY FOR A IQR INCREMENT OF POLLUTANT CONCENTRATION IN SHANGHAI	37
TABLE 10 EFFECTS OF AIR POLLUTION ON MORTALITY BY SEASON HUMIDITY FOR A IQR INCREMENT OF POLLUTANT CONCENTRATION IN TOKYO	40
TABLE 11 STATISTICALLY SIGNIFICANT SEASON-HUMIDITY CATEGORIES IN SEOUL (HIGHLIGHTED CATEGORY HAS THE LARGEST EFFECTS OF AIR POLLUTION ON MORTALITY).....	49
TABLE 12 STATISTICALLY SIGNIFICANT SEASON-HUMIDITY CATEGORIES IN SHANGHAI (HIGHLIGHTED CATEGORY HAS THE LARGEST EFFECTS OF AIR POLLUTION ON MORTALITY).....	50
TABLE 13 STATISTICALLY SIGNIFICANT SEASON-HUMIDITY CATEGORIES IN TOKYO (HIGHLIGHTED CATEGORY HAS THE LARGEST EFFECTS OF AIR POLLUTION ON MORTALITY).....	51

제1장 서론

1.1 연구 배경 및 필요성

대기오염이 인체 건강에 미치는 영향은 다양한 실제 사례와 연구를 통해 잘 알려져 있다. 1948년 미국 펜실베이니아주 도노라 시에서 28명이 사망한 대기오염사고, 1952년 약 4,000명의 사망자를 발생시킨 런던 스모그는 대기오염이 인체에 어떤 영향을 미치는지 보여 주는 대표적인 사례이며, 2013년 10월 세계보건기구(WHO) 산하 국제 암 연구소(IARC)는 미세먼지를 1급 발암물질로 지정하기도 했다. 또한 ((W.Dockery 1993, C Arden Pope III 2002))에서는 대기오염이 사망 및 상병에 부정적인 영향이 있음을 보였다.

대기오염의 건강 영향을 조정하는 요인은 나이, 성별, 사회 경제 수준 등으로 다양하다. 그 중에서도 계절과 습도 또한 대기오염의 건강 영향을 조정하는 것으로 알려져 있다. (Okhee Yi 2010)에서는 서울에서 PM₁₀의 사망 및 상병에 대한 영향이 계절마다 다르며, 여름에 그 영향이 유의하게 증가함을 보였다. (Park, Hong et al. 2011)에서는 서울에서 고온의 여름에 대기오염과 사망간 연관성이 높았다. 이 때, 대부분 65세 이상 인구에서 대기오염의 건강 영향이 컸으며 이러한 경향은 85세 이상 고령인구에서 두드러졌다. 해당 연구는 계절과 온도가 대기오염의 건강 영향을 조정하는 요인임을 시사한다. 추가로 (Chit-Ming Wong 2001),(Kan, London et al. 2008)에서는 각각 홍콩과 상하이에서 대기오염의 건강 영향의 계절 변동을 살펴보았는데, 두 연구 모두 추운 계절에 대기오염의 건강 영향이 더 부정적이었다. 중국 북경에서의 계절 별 대기오염 사망 영향 연구는 TSP(Total Suspended Particle), SO₂가 여름에 사망에 미치는 영향이 높음을 보였다(Xu, Gao et al. 1994). 또한 O₃의 계절별 사망 영향을 본 연구에서, 중국의 경우는 여름, 가을, 한국과 일본의 경우는 봄, 여름 순으로 사망 영향이 높은 연구가 존재한다(Chen, Cai et al. (2014).

습도 수준에 따른 대기오염 건강 영향 평가가 이뤄진 논문들의 결과는 다음과 같다. (Leitte, Petrescu et al. 2009)에서는 미세먼지의 만성기관지염에 대한 건강 영향이 건조한 날 더 나뉘었으며, (Aga, Samoli et al. 2003), (Katsouyanni

September 2001), (Sunyer 2003)에서는 유럽의 몇 개 도시에서 상대습도가 도시 간 대기오염 영향의 동일성을 설명하는 조정 요인임을 보였다. (Aga, Samoli et al. 2003), (Katsouyanni September 2001)에서는 총 사망에 대한 PM_{10} 의 영향이 덥고 건조한 나라에서 더 컸으며 (Sunyer 2003)에서는 건조한날에 SO_2 와 심혈관 질환과의 연관성이 다른 날 보다 높았다. 또한 건조한 환경이 폐렴, 기관지염 등을 일으키는 바이러스의 확산 속도를 빠르게 한다는 보고(Nastos and Matzarakis 2006)가 존재하며, 이는 겨울철 건조한 환경에서 사망률이 높아질 가능성이 있음을 뜻한다.

계절과 습도 수준을 동시에 고려한 연구 또한 존재한다. (Qiu, Yu et al. 2013)에서는 계절과 습도를 각각 두 수준으로 구분하여 대기오염의 호흡기 질환에 대한 영향을 분석했는데, 계절 및 습도 수준에 따라 영향 정도가 달랐다. 건강 영향은 춥고 건조한 날에 부정적이었다.

앞서 기술하였듯이 계절에 따른 대기오염의 건강 영향 연구들이 기존에 존재하나 연구 결과들은 통일성이 부족하다. 또한 습도 수준별로 대기오염의 건강 영향 평가가 이루어진 연구 수는 극히 적으며, 계절과 습도 수준을 동시에 고려해 대기오염 건강 영향을 평가한 연구는 홍콩에서 이루어진 연구 하나 (Qiu, Yu et al. 2013) 뿐이다.

따라서 기존 몇몇 선행 연구들에서 계절, 습도 수준이 대기오염 사망 조정 요인임을 보이고 있음에도 불구하고 해당 세 도시에 대해서는 구체적인 분석이 이루어지고 있지 않아 해당 연구가 필요하다고 판단하였다.

1.2 연구 목적

본 연구에서는 아시아 3개 도시(서울, 상하이, 도쿄)를 대상으로 대기오염(PM_{10} , NO_2 , O_3 , SO_2)의 사망(비사고 사망) 영향이 아래 세 가지 조건(계절, 습도 수준, 계절 내 습도 수준)에 따라 어떻게 달라지는지 분석하고자 한다.

(1) 계절 : 봄, 여름, 가을, 겨울

(2) 습도 수준 : 건조한 날, 습한 날

(3) 계절 내 습도 수준: 건조한 봄, 습한 봄, 건조한 여름, 습한 여름,

건조한 가을, 습한 가을, 건조한 겨울, 습한 겨울

제2장 연구방법

2.1 연구자료

2.1.1 연구자료 기간

본 연구는 아시아 3개 도시를 분석 대상으로 설정하였다. 해당 3개 도시는 서울, 상하이, 도쿄이다. 연구기간은 각 도시별로 상이하다. 각 도시별 자료 구축 기간은 서울의 경우 2000년 1월 1일 ~ 2010년 12월 31일, 도쿄의 경우 1990년 1월 1일 ~ 2009년 12월 31일, 상하이의 경우 2001년 1월 1일부터 2008년 12월 31일이다.

2.1.2 사망 자료

각 도시별 사망 자료는 한국 통계청(Korea National Statistical Office, KNSO), 중국질병관리본부(Center for Disease Prevention and Statistical Office), 일본 보건복지부(Ministry of Health and Welfare of Japan)에서 받아 사용하였다. 사망 자료는 자살, 교통 사고와 같은 외부적 요인을 제외한 사망 자료이며, 이는 국제 질병 분류 10번째 수정판(ICD-10 : International Classification of Disease 10th revision)의 일별 비사고 사망자수 (ICD-10:A00-R99) 분류를 통해 구분되었다.

2.1.3 기상자료

본 연구에서 기상자료는 일평균기온(°C), 일평균 상대습도(%)가 사용되었다. 각 도시의 기상자료는 한국 기상청(Korea Meteorological Office), 중국 기상자료 공유 서비스 시스템(China Meteorological Data Sharing Service System), 일본 기상관(Japan Meteorological Agency) 에서 얻었다. 기상자료는 모두 관측소에서 매 시간 기록된 기상 자료를 사용하여 계산된 일별 평균 값을 사용하였으며 도시 내에 관측소가 여러 곳인 경우에는 관측소 값들의 평균을 도시 대표값으로 사용하였다.

2.1.4 대기오염 자료

대기오염 자료로는 한국 보건환경연구소(Research Institute of Public Health and Environment in Korea), 중국환경모니터링 센터(Environmental Monitoring Center), 일본 환경연구소(National Institute for Environmental Studies in Japna)에서 얻은 $PM_{10}(\mu g/m^3)$, $NO_2(ppb)$, $O_3(ppb)$, $SO_2(ppb)$ 가 사용되었다.

2.2 통계적 분석 방법

2.2.1 기본 모형

분석은 자료가 시계열 형태인 관계로 일반화 가법 모형(GAM : Generalized Additive Model)을 이용한 시계열 분석이 이루어졌다. 일반화 가법 모형 적용 시 모형의 반응변수가 따르는 확률분포를 가정해야 하는데 해당 분석에서는 Quasi 포아송 분포를 가정하였다. 포아송 분포는 연속적인 시간에서 매 순간의 발생확률 대신 단위 시간에 발생하리라 기대되는 평균 발생 횟수를 이용하여 주어진 시간에 실제로 발생하는 사건의 횟수를 다루는 분포이다. 모형의 반응변수인 일별 비사고 사망수는 하루라는 단위 시간에 평균적으로 특정 횟수만큼 사건이 발생하는 과정으로 이해될 수 있다. 포아송 분포의 경우 평균과 분산이 같은 성질을 갖는데 실제 분석 시 분산이 평균보다 커지는 과분산의 문제가 발생할 수 있어 해당 문제를 보정해줄 수 있는 Quasi 포아송 분포를 가정하였다.

분석 시 대기오염 농도는 각 오염물질 별로 0~5일까지의 단일 이전 값과 (single lag value)와 0~5일까지의 이전 이동평균 값 (moving average value)을 사용하였다. 이는 대기오염 값을 일정기간 앞으로 당겨 오늘의 사망과 연결하는 것으로 이해할 수 있다. 당일의 대기오염 농도가 오늘의 사망에 영향을 미치는 것보다 몇 일전 혹은 지난 몇 일 간의 대기오염 평균농도가 오늘 사망에 영향을 미칠 것으로 해석하는 것이 합리적이기 때문이다. 즉, 대기오염의 이전 값과 이전 이동평균 값을 분석에 사용하는 이유는 대기오염 노출에 대한 사망의 발현에 일정 시간이 필요하기 때문인 것으로 이해할 수 있다(Gasparrini and Armstrong 2010). 기본 통계 모형은 다음과 같다.

$$\text{Log}(E(Y)) = \beta_1 \text{Pollutant} + \beta_2 \text{Weahter Dummy} + \beta_3 \text{Pollutant} * \text{Weahter Dummy} + \text{COVs}$$

모형에서 Y 는 일별 비사고 평균 사망수이며 Pollutant는 $\text{PM}_{10}(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ $\text{NO}_2(\text{ppb})$, $\text{O}_3(\text{ppb})$, $\text{SO}_2(\text{ppb})$ 의 네 가지 대기오염물질, Weahter Dummy는 Season, Humidity, Season_Humidity로 구분가능한 세 종류의 범주형 변수이다. Weahter Dummy에서 Season은 봄(3,4,5월), 여름(6,7,8월), 가을(9,10,11월), 겨울(12,1,2월)로 구분하였다. Humidity는 각 도시별로 당일의 상대습도가 각 당해년도 상대습도 중앙값 이상인 경우는 ‘습한 날’, 그 외의 날은 ‘건조한 날’로 구분하였다. Season_Humidity는 Season과 Humidity의 교호작용 변수로 ‘건조한 봄’, ‘습한 봄’, ‘건조한 여름’, ‘습한 여름’, ‘건조한 가을’, ‘습한 가을’, ‘건조한 겨울’, ‘습한 겨울’의 범주를 갖는 변수이다.

COVs (Covariates)는 기상조건 별 대기오염의 사망 영향 분석을 위해 보정된 변수들로 시간, 온도, 습도, 인플루엔자 유행여부, 요일을 포함한다. 장기 추세를 보정하기 위해 자유도 6을 가진 평활 함수(smoothing function)를 시간변수에 적용하였으며, 당일온도(Temp_0), 3일 전의 평균온도(Temp_{1-3}), 당일습도(Humid_0)와 3일 전 평균습도 (Humid_{1-3}) 또한 평활함수가 적용되었다.(Bell, Ebisu et al. 2008),(peng 2008). 요일(Day of week)과 인플루엔자 유행 여부 또한 보정되었다. 인플루엔자 유행 여부 변수는 일주일 간 인플루엔자로 사망한 수가 1000명당 1명 이상인 경우, 인플루엔자가 유행한 것으로 정의하였다. 인플루엔자 보정은 서울과 도쿄, 두 도시에서만 이루어졌다.

2.2.2 가설

본 연구에서 연구 가설은 크게 세 가지로 구분할 수 있다.

각 도시 별로

- 계절에 따라 대기오염의 사망 영향이 다르다.
- 습도 수준에 따라 대기오염의 사망 영향이 다르다.
- 계절 내 습도 수준에 따라 대기오염의 사망 영향이 다르다.

2.2.3 초과 상대 위험도

본 연구에서 통계 분석의 결과는 초과 상대 위험도 (ERR : Excess Relative Risk)를 통해 설명될 것이다. 초과 상대 위험도를 이해하기 위해서 먼저 상대 위험도(RR : Relative Risk)를 알아야 한다. 본 분석에서 상대 위험도는 특정 기상 조건에서 대기오염 농도가 한 단위 증가할 때 사망 발생의 위험이 증가하는지를 보여주는 척도이다. 예를 들어 상대 위험도가 1.2의 값을 갖는다면 이는 특정 기상 조건에서 대기오염 농도가 한 단위 증가했을 때 사망발생 위험도가 대기오염 농도가 증가하기 전에 비해 1.2배임을 뜻한다. 초과 상대 위험도는 상대 위험도에서 1을 빼고 100을 곱해 %단위로 변환한 값이다. 따라서 앞의 예제에서 초과 상대 위험도는 20%이다. 이는 대기오염이 한 단위 증가했을 때 사망 수가 20% 증가할 것으로 기대됨을 의미한다.

3. 결과

3.1. 기술통계량

Table1은 각 도시별로 계절 및 습도 수준에 따라 일평균 비사고 사망 수와 대기오염의 농도를 설명한다.

서울과 상하이의 경우 다른 계절에 비해 겨울에 일평균 사망 수가 높았으며, 일평균 PM_{10} , NO_2 , O_3 , SO_2 농도는 각각 봄, 겨울, 여름, 겨울에 가장 높은 값을 보였다. 습도 수준별로 보았을 때는 일평균 사망 수, PM_{10} , NO_2 , O_3 , SO_2 농도 모두 습한 날 보다 건조한 날에 높았다. 도쿄의 경우에도 겨울에 일평균 사망 수가 가장 높았으며, 일평균 PM_{10} , NO_2 , O_3 , SO_2 농도는 각각 겨울, 겨울, 여름, 겨울에 가장 높은 값을 보였다. 특징적인 것은 습도 수준별로 대기오염의 농도를 비교해 보았을 때 PM_{10} 농도가 건조한 날보다 습한 날에 더 높다는 것이다. 그 외 일평균 사망 수, NO_2 , O_3 , SO_2 농도는 모두 습한 날 보다 건조한 날에 높았다. 세 도시 모두 일평균 사망수는 겨울에 높았으며 O_3 농도는 여름에, NO_2 , SO_2 는 겨울에 높았다. 또한 습한 날보다 건조한 날에 일평균 사망 수와 대부분의 대기오염 농도가 높은 값을 보였다.

Table 1 Descriptive statistics for N, Death, PM₁₀, NO₂, O₃, SO₂, temperature, humidity

City	Weather Condition	N	Death	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO ₂ (ppb)	O ₃ (ppb)	SO ₂ (ppb)	Temperature (°C)	Humidity (%)
		total	mean(sd)	mean(sd)	mean(sd)	mean(sd)	mean(sd)	mean(sd)	mean(sd)
Seoul	Spring	1012	93.9 (10.56)	78.57 (67.26)	39.34 (11.8)	41.93 (15.62)	5.58 (2.15)	12.15 (6.07)	56.18 (14.79)
	Summer	1012	87.15 (10.19)	49.73 (28.6)	29.24 (9.26)	45.5 (24.27)	3.98 (1.08)	24.41 (2.56)	71.78 (12.03)
	Fall	1001	93.87 (11.27)	53.5 (32.04)	36.17 (12.25)	29.75 (14.66)	4.78 (1.77)	14.73 (6.73)	62.53 (12.53)
	Winter	993	98.59 (11.56)	67.57 (33.48)	40.75 (13.08)	18.86 (8.66)	7.21 (2.58)	-0.24 (4.59)	56.47 (13.26)
	Low humid	2007	94.79 (11.1)	63.97 (48.63)	37.88 (12.82)	35.06 (18.95)	5.78 (2.25)	8.97 (9.83)	49.72 (8.46)
	High humid	2011	91.92 (11.98)	60.72 (40.62)	34.83 (11.96)	33.14 (20.57)	4.98 (2.29)	16.66 (9.08)	73.78 (8.21)
Shanghai	Spring	736	120.3 (19.41)	110.7 (64.25)	52.43 (23.59)	75.83 (35.09)	37.17 (29.71)	16.2 (5.23)	68.88 (13.59)
	Summer	736	106.2 (13.25)	78.12 (37.12)	38.54 (18.21)	83.07 (44.9)	29.16 (21.19)	27.84 (3.05)	75.11 (8.71)
	Fall	728	114.4 (13.37)	91.68 (58.29)	48.58 (23.72)	64.34 (29.88)	33.66 (25.48)	19.9 (5.36)	70.59 (10.2)
	Winter	722	148.4 (20)	108.3 (64.57)	55.42 (25.25)	35.5 (16.78)	44.32 (35.65)	6.61 (3.79)	70.86 (12.97)

City	Weather Condition	N	Death	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO ₂ (ppb)	O ₃ (ppb)	SO ₂ (ppb)	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Humidity (%)
		total	mean(sd)	mean(sd)	mean(sd)	mean(sd)	mean(sd)	mean(sd)	mean(sd)
Shanghai	Low humid	1420	124.6 (23.84)	113.2 (63.71)	52.2 (24.42)	75.63 (38.45)	42.79 (30.95)	16.22 (9.25)	61.87 (8.11)
	High humid	1502	119.9 (22.07)	81.97 (48.72)	45.4 (22.5)	54.61 (34.38)	29.64 (25.42)	19.07 (8.18)	80.34 (6.4)
Tokyo	Spring	1840	151.8 (20.42)	39.71 (19.71)	29.78 (10.38)	47.69 (17.23)	5.63 (3.45)	14.59 (4.89)	58.82 (15.6)
	Summer	1840	140.6 (17.82)	47.29 (25.49)	26.25 (9.25)	51.74 (30.48)	5.8 (3.31)	25.35 (3.43)	71.2 (8.99)
	Fall	1820	146.4 (19.53)	45.61 (28.75)	31.69 (11.12)	33.95 (18.42)	5.47 (3.54)	18.83 (5.05)	64.82 (13.09)
	Winter	1805	173.3 (23.28)	42.06 (33.15)	35.54 (12.65)	26.98 (9.8)	5.99 (4.34)	7.36 (2.59)	49.29 (14.33)
	Low humid	3559	160.1 (24.64)	38.73 (26.06)	32.27 (12)	40.38 (18.64)	5.99 (3.92)	12.64 (6.59)	48.06 (9.86)
	High humid	3746	146.1 (20.75)	48.38 (27.76)	29.43 (10.66)	39.97 (26.06)	5.47 (3.43)	20.3 (6.81)	73.45 (7.84)

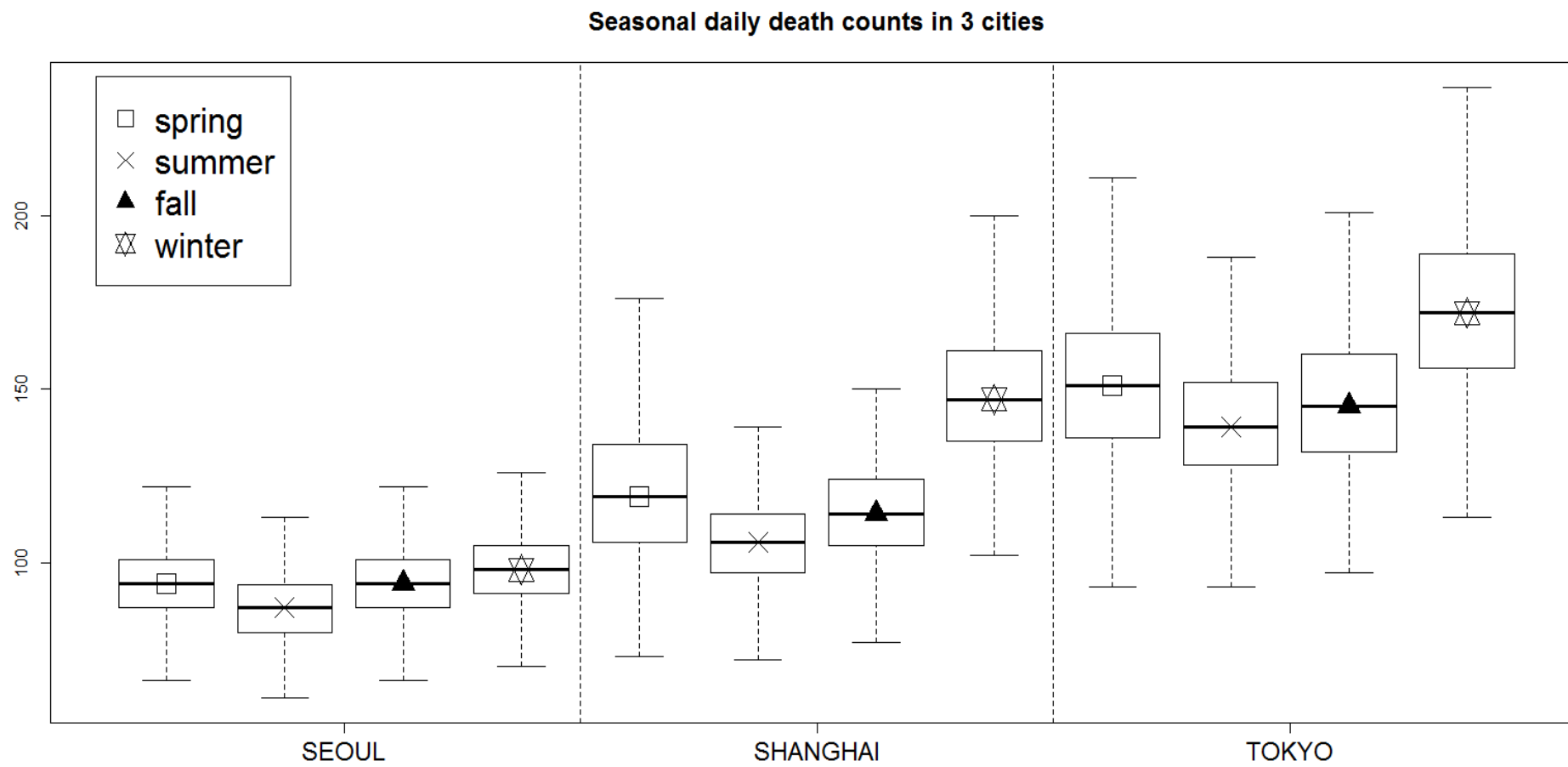


Figure 1. Seasonal daily death counts in 3 cities

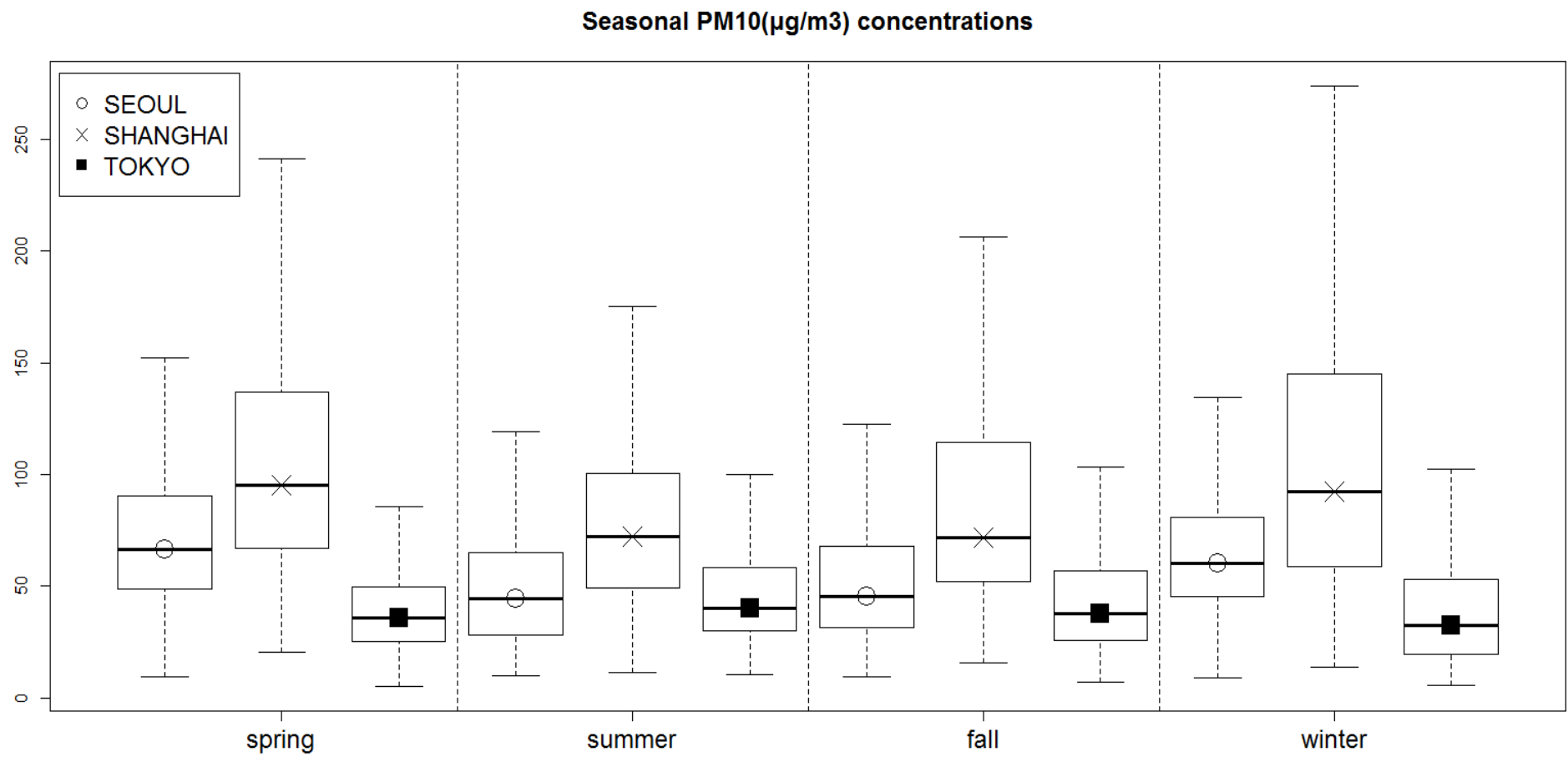


Figure 2. Seasonal PM₁₀($\mu\text{g}/\text{m}^3$) concentrations by 3 cities

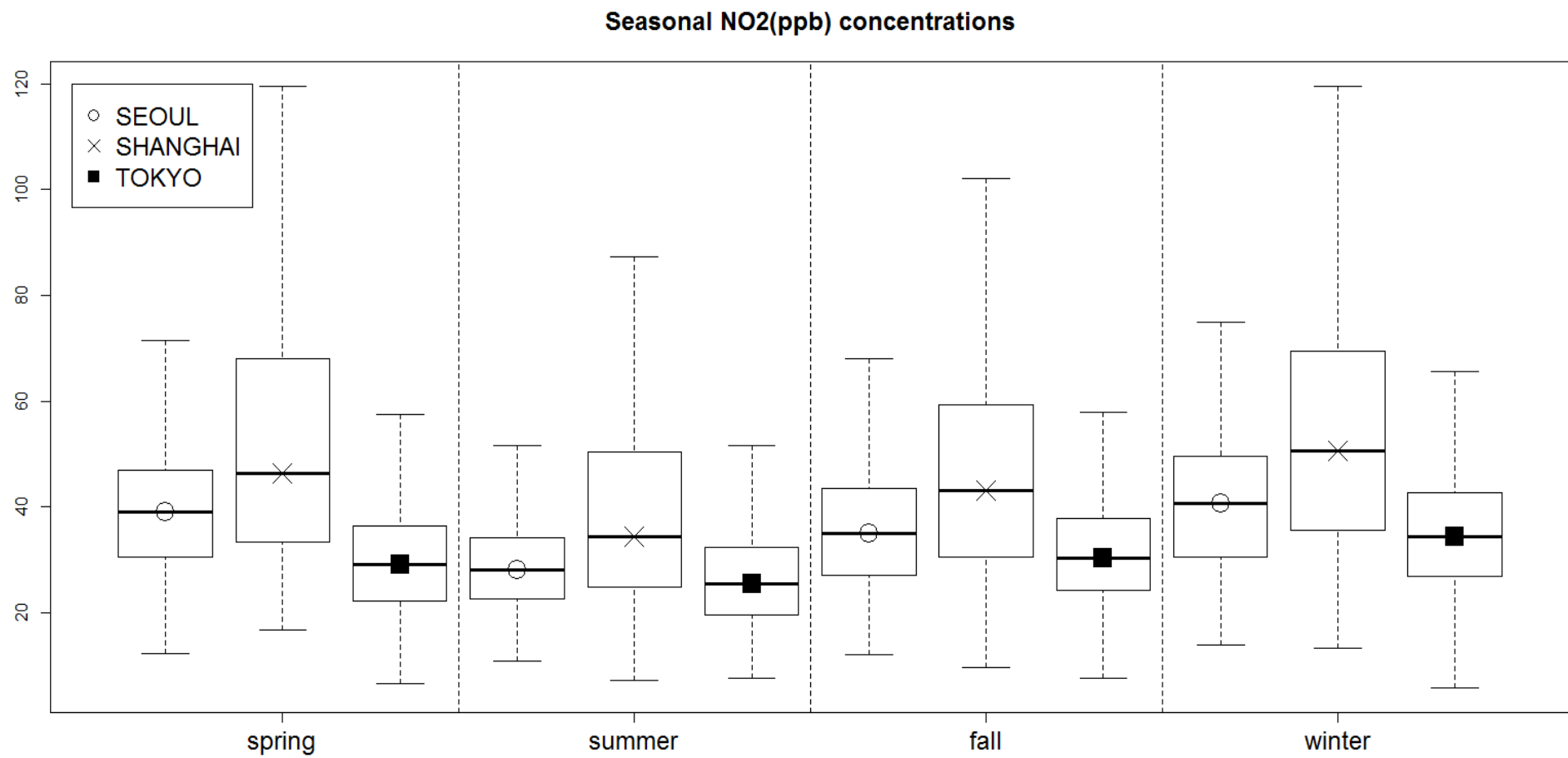


Figure 3. Seasonal NO₂ (ppb) concentrations by 3 cities

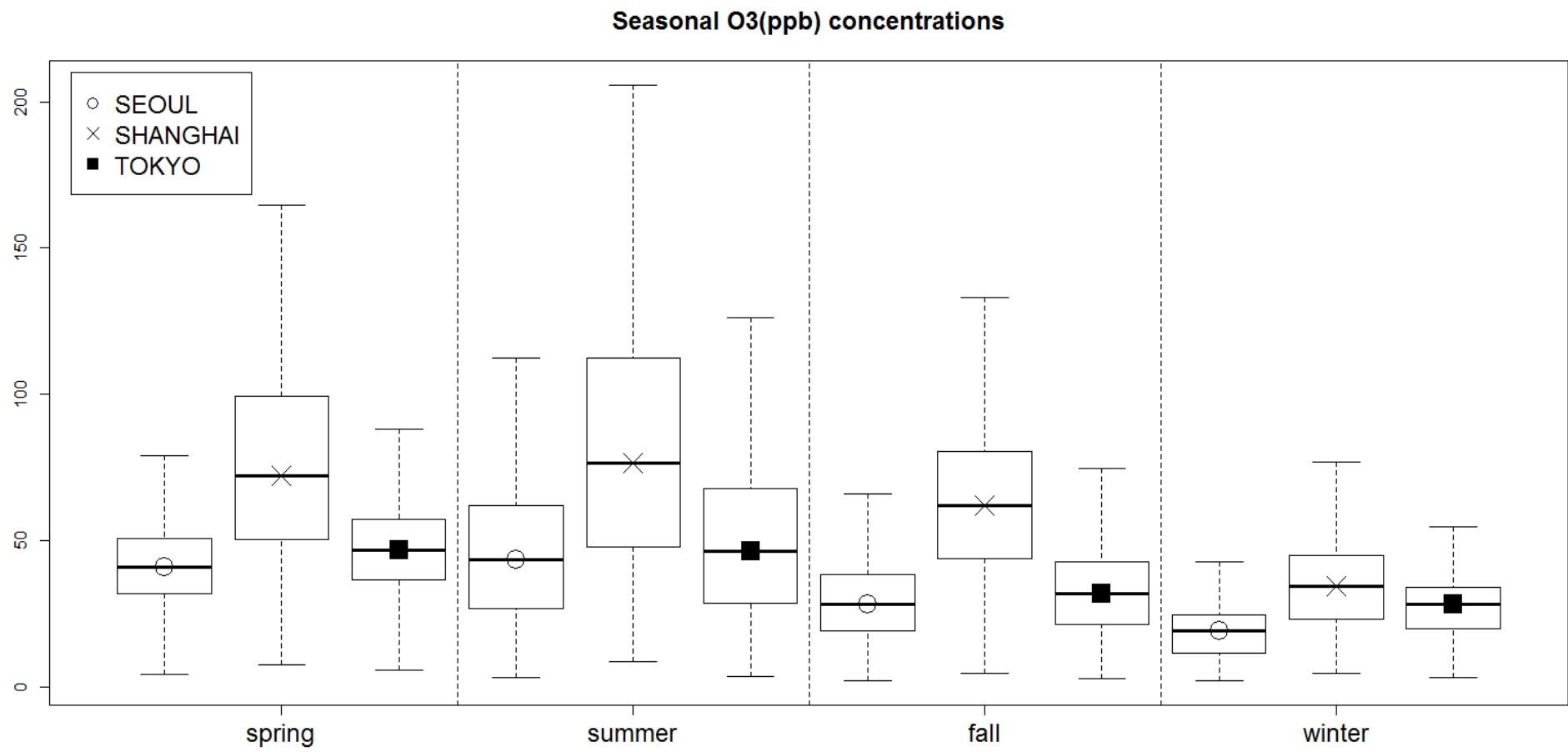


Figure 4. Seasonal O₃ (ppb) concentrations by 3 cities

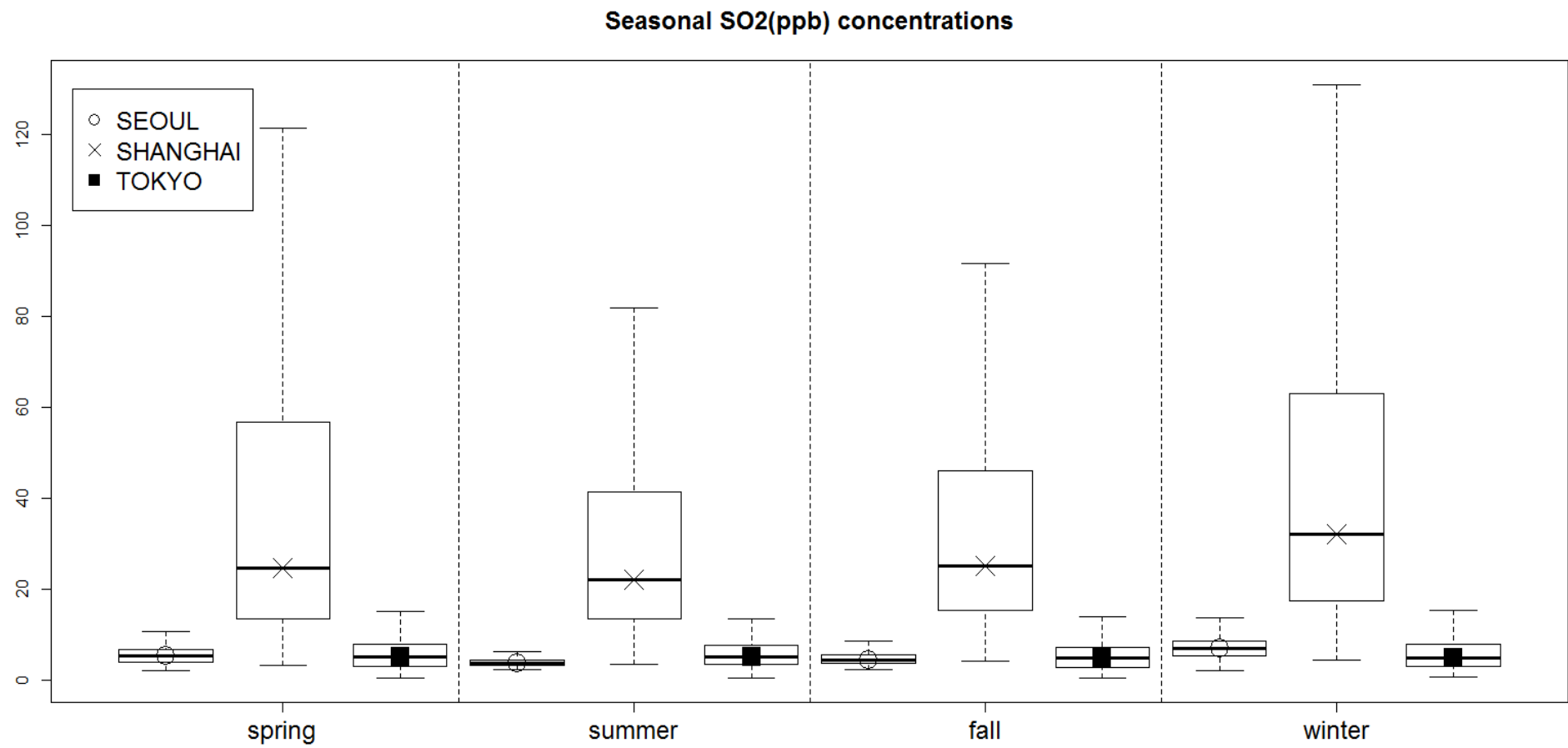


Figure 5. Seasonal SO₂ (ppb) concentrations by 3 cities

앞으로 3.2 부터 있을 대기오염 사망영향은 각 오염물질의 단일 지연(single day lag) 효과 혹은 평균 지연(moving average) 효과 중 유의한 범주들을 기준하여, 그 중 가장 큰 사망 영향을 보이는 값을 중심으로 기술될 것이다.

3.2 계절별 대기오염 사망 영향

서울의 경우 여름에 사망에 대한 PM_{10} , SO_2 , O_3 의 단일 지연(single day lag) 영향과 평균 지연(moving average) 영향은 모두 유의한 것으로 나타났다. 반면 NO_2 는 단일 지연영향과 평균 지연 영향이 모두 겨울에 가장 크고 유의했다. 사망에 대한 대기오염의 평균 지연 효과는 그 길이가 길어질수록 높았다.

상하이의 경우 사망에 대한 모든 대기오염의 단일 지연 영향과 평균 지연 영향이 다른 계절에 비해 겨울일 때 높았으며 이 경우 모두 유의했다.

도쿄의 O_3 의 사망에 대한 단일 지연 영향과 평균 지연 영향이 겨울에 유의했으며 SO_2 는 단일 지연 영향만이 유의하였다. PM_{10} , NO_2 의 사망 영향이 유의한 계절은 없었으나 사망 영향의 크기만을 고려했을 때 여름에 그 값이 가장 컸다.

Table 2 Effects of air pollution on mortality by season for a IQR increment of pollutant concentration in Seoul
(ERR% (95% CI) : the greatest effects of single day lag and greatest effects of moving average day lag were selected)

pollutant	Lags	Spring	Summer	Fall	Winter
PM ₁₀	LAG	0.39 (0.01 , 0.78) : 3	1.21 (0.24 , 2.19) : 2	0.82 (-0.04 , 1.68) : 2	0.62 (-0.19 , 1.43) : 1
	MA	0.76 (0.15 , 1.36) : 3	1.50 (0.26 , 2.76) : 2	1.09 (-0.06 , 2.25) : 3	0.83 (-0.47 , 2.14) : 4
NO ₂	LAG	1.19 (0.09 , 2.29) : 3	1.3 (-0.19 , 2.88) : 2	1.13 (0.00 , 2.27) : 3	1.42 (0.29 , 2.57) : 1
	MA	1.50 (-0.41 , 3.45) : 4	2.13 (0.15 , 4.14) : 2	1.98 (0.29 , 3.69) : 4	2.27 (0.39 , 4.20) : 4
O ₃	LAG	0.65 (-0.64 , 1.96) : 1	1.14 (0.32 , 1.96) : 2	0.94 (-0.43 , 2.32) : 3	1.93 (-0.34 , 4.26) : 0
	MA	0.93 (-0.77 , 2.66) : 1	1.39 (0.04 , 2.76) : 3	0.19 (-1.93 , 2.35) : 3	2.11 (-2.08 , 6.48) : 5
SO ₂	LAG	0.72 (-0.29 , 1.75) : 3	3.59 (1.36 , 5.86) : 1	1.31 (-0.01 , 2.66) : 4	0.75 (-0.14 , 1.65) : 2
	MA	0.99 (-0.64 , 2.64) : 4	4.32 (1.26 , 7.47) : 3	2.22 (0.30 , 4.17) : 4	1.75 (0.35 , 3.18) : 4

IQR of air pollution : 38μg/m³ PM₁₀, 18ppb NO₂, 25ppb O₃, 3ppb SO₂.

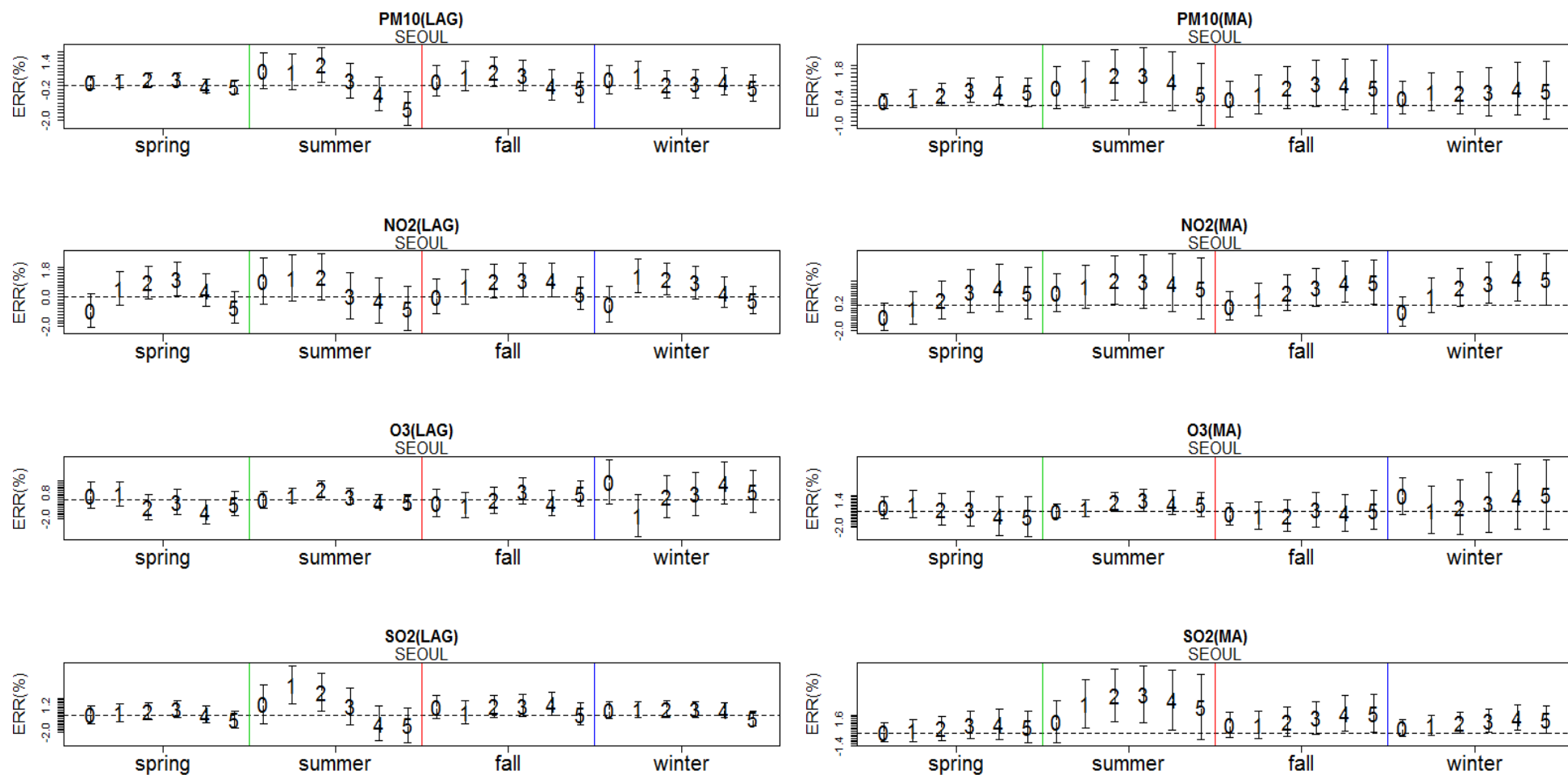


Figure 6. Effects of air pollution on mortality by season for a 1 IQR increment of pollutant concentration in Seoul

Table 3 Effects of air pollution on mortality by season for a IQR increment of pollutant concentration in Shanghai
(ERR% (95% CI) : The greatest effects of single day lag and greatest effects of moving average day lag were selected)

pollutant	Lags	Spring	Summer	Fall	Winter
PM ₁₀	LAG	0.48 (-0.36 , 1.33) : 1	1.01 (-0.46 , 2.5) : 1	1.01 (0.06 , 1.96) : 0	1.09 (0.35 , 1.83) : 4
	MA	0.72 (-0.4 , 1.85) : 2	1.42 (-0.75 , 3.64) : 4	1.11 (-0.37 , 2.6) : 5	2.37 (1.1 , 3.66) : 5
NO ₂	LAG	2.13 (0.66 , 3.61) : 3	1.06 (-0.65 , 2.79) : 3	1.95 (0.59 , 3.34) : 0	2.72 (1.59 , 3.86) : 3
	MA	3.21 (0.76 , 5.71) : 5	1.48 (-0.97 , 3.99) : 5	2.61 (0.65 , 4.61) : 5	4.58 (2.89 , 6.31) : 5
O ₃	LAG	1.21 (-0.08 , 2.52) : 2	0.54 (-0.39 , 1.48) : 4	0.82 (-0.52 , 2.18) : 4	3.37 (1.05 , 5.74) : 3
	MA	1.89 (-0.44 , 4.27) : 5	0.77 (-0.67 , 2.23) : 4	-0.01 (-1.39 , 1.4) : 0	7.22 (3.50 , 11.07) : 4
SO ₂	LAG	1.24 (-0.15 , 2.65) : 3	1.85 (0.04 , 3.70) : 4	0.69 (-0.78 , 2.18) : 0	2.18 (1.22 , 3.15) : 3
	MA	2.33 (-0.02 , 4.74) : 5	1.55 (-1.18 , 4.37) : 5	0.88 (-1.26 , 3.08) : 5	3.61 (2.08 , 5.16) : 5

IQR of air pollution : 66µg/m³ PM₁₀, 31ppb NO₂, 48ppb O₃, 36ppb SO₂

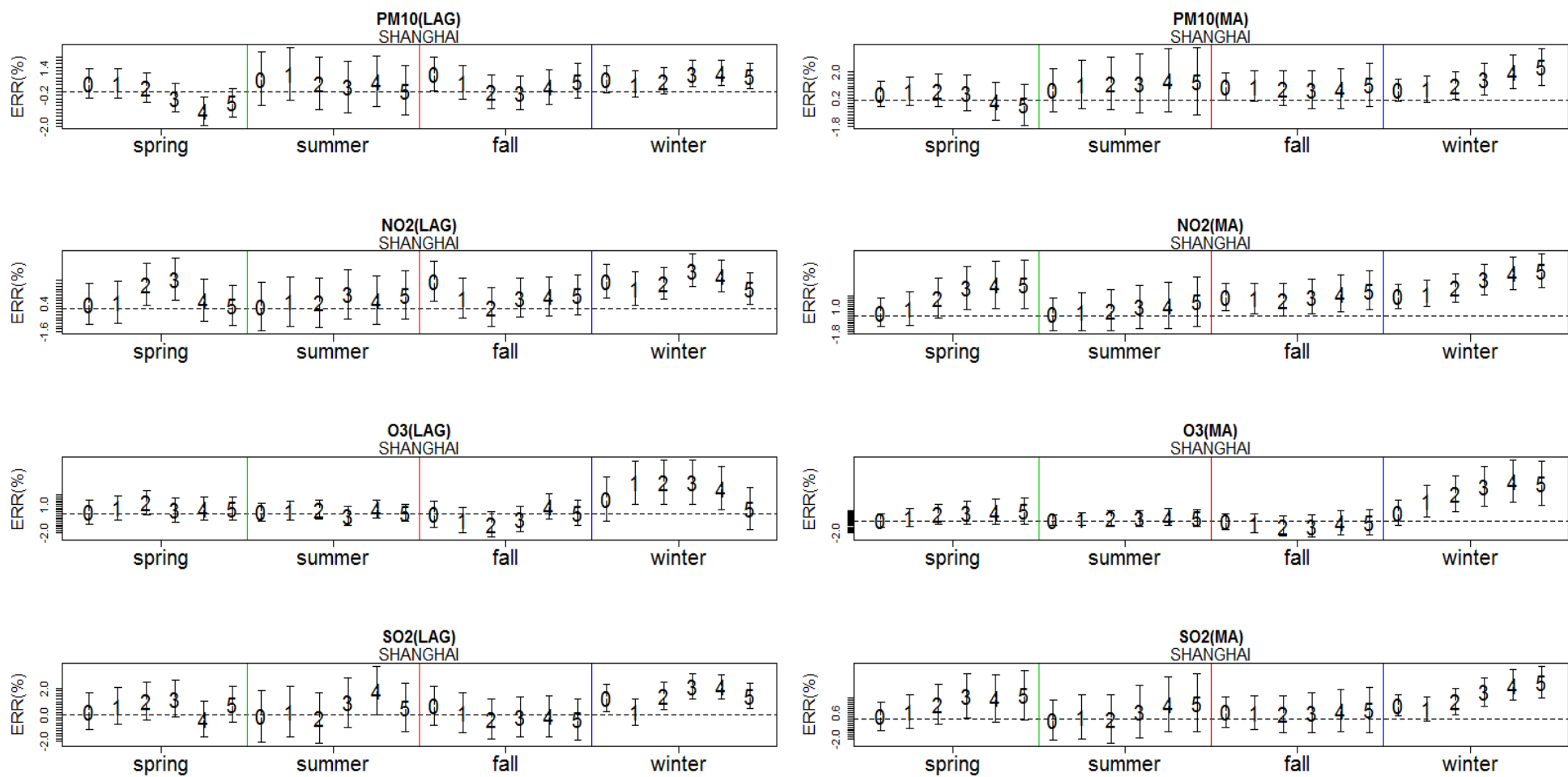


Figure 7. Effects of air pollution on mortality by season for a 1 IQR increment of pollutant concentration in Shanghai

Table 4. Effects of air pollution on mortality by season for a IQR increment of pollutant concentration in Tokyo

(ERR% (95% CI) : The greatest effects of single day lag and greatest effects of moving average day lag were selected)

pollutant	Lags	Spring	Summer	Fall	Winter
PM ₁₀	LAG	0.11 (-0.57 , 0.79) : 1	0.42 (-0.16 , 1.00) : 3	0.37 (-0.12 , 0.86) : 1	0.02 (-0.40 , 0.44) : 3
	MA	-0.15 (-0.99 , 0.7) : 1	0.52 (-0.38 , 1.42) : 5	0.19 (-0.42 , 0.79) : 1	-0.92 (-1.35 , -0.48) : 0
NO ₂	LAG	0.08 (-0.58 , 0.75) : 3	0.73 (-0.07 , 1.54) : 3	0.43 (-0.25 , 1.11) : 1	-0.39 (-0.91 , 0.13) : 3
	MA	-1.16 (-1.82 , -0.49) : 0	0.67 (-0.68 , 2.04) : 5	0.20 (-0.63 , 1.04) : 1	-1.59 (-2.14 , -1.05) : 0
O ₃	LAG	1.35 (0.58 , 2.11) : 2	0.22 (-0.17 , 0.60) : 3	0.75 (0.09 , 1.42) : 2	2.50 (1.26 , 3.76) : 0
	MA	2.69 (1.35 , 4.05) : 3	0.45 (-0.16 , 1.06) : 3	1.09 (0.00 , 2.18) : 3	5.43 (2.90 , 8.02) : 5
SO ₂	LAG	0.44 (-0.39 , 1.28) : 2	0.97 (0.12 , 1.83) : 1	0.35 (-0.47 , 1.17) : 1	-0.26 (-0.91 , 0.4) : 3
	MA	-0.07 (-1.38 , 1.26) : 3	0.95 (-0.42 , 2.33) : 4	-0.09 (-1.06 , 0.89) : 1	-1.57 (-2.22 , -0.92) : 0

IQR of air pollution : 29µg/m³ PM₁₀, 15ppb NO₂, 26ppb O₃, 3ppb SO₂

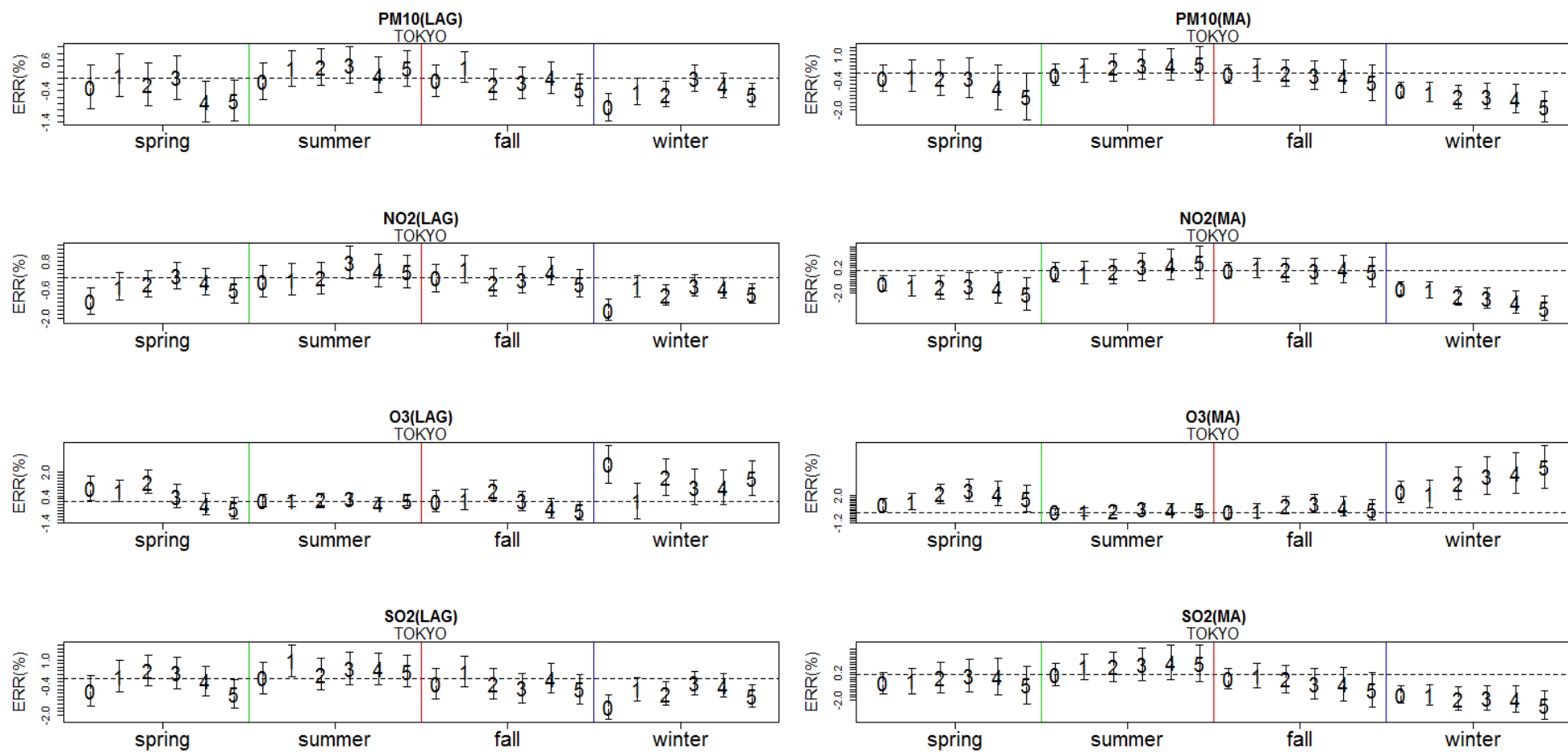


Figure 8. Effects of air pollution on mortality by season for a 1 IQR increment of pollutant concentration in Tokyo

3.3 습도 수준별 대기오염 사망 영향

서울의 경우 PM_{10} , SO_2 의 사망 영향은 습한 날에 유의했으며 해당 대기오염물질에 대해서는 건조한 날보다 습한 날의 사망 영향이 더 컸다. O_3 의 사망 영향은 습도 수준 별로 구분했을 때 유의한 범주가 없었으나 영향의 크기만 비교했을 때는 건조한 날에 더 컸다.

상하이의 경우 건조한 날에 PM_{10} , SO_2 , NO_2 의 단일 지연 사망 영향, 평균 지연 사망 영향이 모두 유의했다. 반면 O_3 는 습할 때 단일 지연 사망 영향에 한해서만 유의했다.

도쿄의 경우 O_3 의 사망 영향은 단일 지연 모형과 평균 지연 모형 모두에서 유의했으나 습한 날보다 건조한 날에 그 영향이 크게 나타났다. O_3 을 제외한 나머지 대기오염의 경우 습도 수준별로 구분해 사망 영향을 보았을 때 유의한 범주는 없었다.

Table 5 Effects of air pollution on mortality by humidity level for a IQR increment of pollutant concentration in Seoul
(ERR% (95% CI) : The greatest effects of single day lag and greatest effects of moving average day lag were selected)

pollutant	Lags	Dry	Humid
PM ₁₀	LAG	0.39 (0.03 , 0.74) : 1	0.80 (0.23 , 1.36) : 3
	MA	0.79 (0.24 , 1.34) : 3	1.03 (0.25 , 1.81) : 4
NO ₂	LAG	1.09 (0.31 , 1.86) : 2	1.06 (0.22 , 1.91) : 2
	MA	1.70 (0.42 , 3.00) : 4	1.93 (0.61 , 3.28) : 4
O ₃	LAG	0.53 (-0.4 , 1.46) : 2	0.47 (-0.24 , 1.18) : 2
	MA	0.93 (-0.43 , 2.31) : 3	0.87 (-0.34 , 2.1) : 3
SO ₂	LAG	0.56 (-0.14 , 1.26) : 3	1.22 (0.37 , 2.07) : 2
	MA	1.27 (0.19 , 2.37) : 4	2.20 (1.00 , 3.43) : 4

IQR of air pollution : 38μg/m³ PM₁₀, 18ppb NO₂, 25ppb O₃, 3ppb SO₂

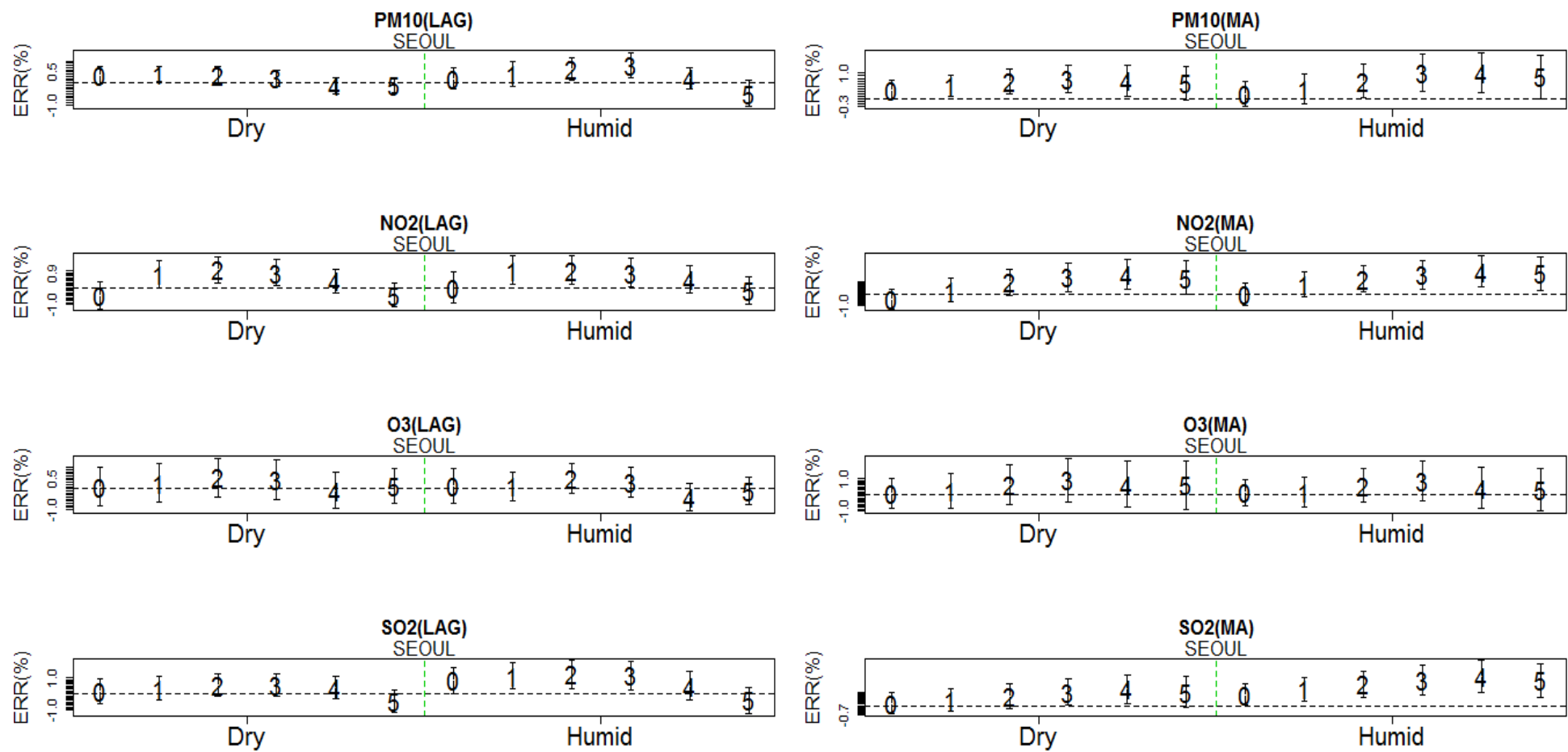


Figure 9. Effects of air pollution on mortality by humidity level for a IQR increment of pollutant concentration in Seoul

Table 6 Effects of air pollution on mortality by humidity level for a IQR increment of pollutant concentration in Shanghai
(ERR% (95% CI) : The greatest effects of single day lag and greatest effects of moving average day lag were selected)

pollutant	Lags	Dry	Humid
PM ₁₀	LAG	1.05 (0.45 , 1.65) : 0	0.21 (-0.52 , 0.93) : 0
	MA	1.94 (0.97 , 2.92) : 5	0.28 (-0.84 , 1.41) : 5
NO ₂	LAG	2.08 (1.18 , 2.98) : 3	1.60 (0.71 , 2.51) : 3
	MA	3.57 (2.20 , 4.95) : 5	3.00 (1.67 , 4.35) : 5
O ₃	LAG	0.47 (-0.41 , 1.36) : 2	0.86 (0.08 , 1.65) : 4
	MA	0.87 (-0.44 , 2.2) : 4	1.07 (-0.28 , 2.44) : 5
SO ₂	LAG	1.73 (0.88 , 2.59) : 3	1.33 (0.47 , 2.20) : 3
	MA	2.95 (1.64 , 4.27) : 5	2.73 (1.33 , 4.15) : 5

IQR of air pollution : 66µg/m³ PM₁₀, 31ppb NO₂, 48ppb O₃ , 36ppb SO₂

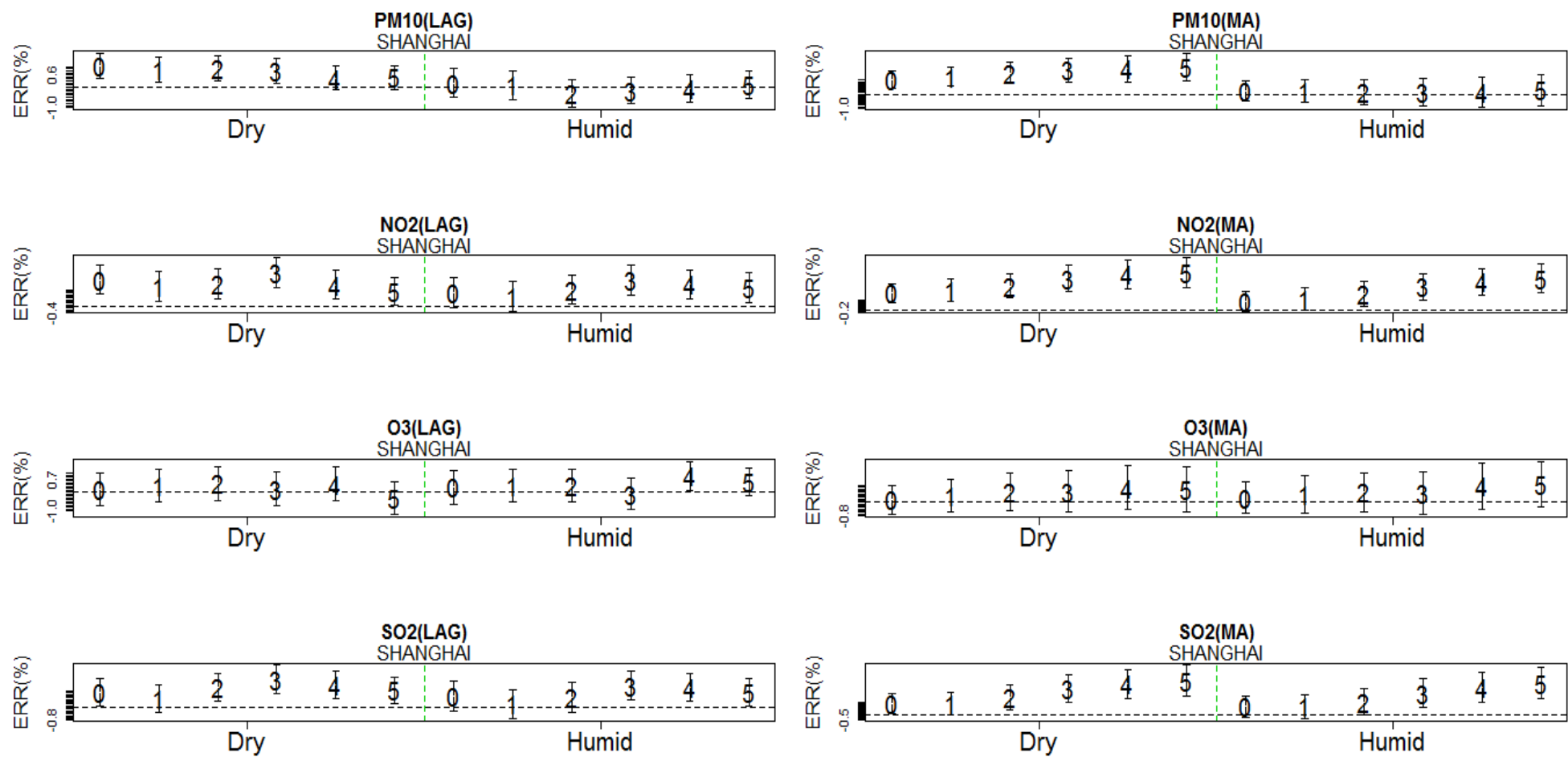


Figure 10. Effects of air pollution on mortality by humidity level for a IQR increment of pollutant concentration in Shanghai

Table 7 Effects of air pollution on mortality by humidity level for a IQR increment of pollutant concentration in Tokyo
(ERR% (95% CI) : The greatest effects of single day lag and greatest effects of moving average day lag were selected)

pollutant	Lags	Dry	Humid
PM ₁₀	LAG	-0.03 (-0.39 , 0.32) : 1	0.21 (-0.16 , 0.59) : 3
	MA	-0.44 (-0.91 , 0.03) : 1	-0.08 (-0.61 , 0.45) : 3
NO ₂	LAG	-0.16 (-0.59 , 0.27) : 1	0.25 (-0.23 , 0.73) : 3
	MA	-0.9 (-1.33 , -0.46) : 0	-0.77 (-1.48, -0.05) : 3
O ₃	LAG	0.69 (0.19 , 1.20) : 2	0.43 (0.08 , 0.79) : 2
	MA	1.03 (0.26 , 1.81) : 3	0.82 (0.24 , 1.39) : 3
SO ₂	LAG	-0.13 (-0.67 , 0.4) : 1	0.32 (-0.21 , 0.85) : 1
	MA	-0.84 (-1.48 , -0.2) : 1	-0.26 (-0.9 , 0.38) : 1

IQR of air pollution : 29μg/m³ PM₁₀, 15ppb NO₂, 26ppb O₃, 3ppb SO₂

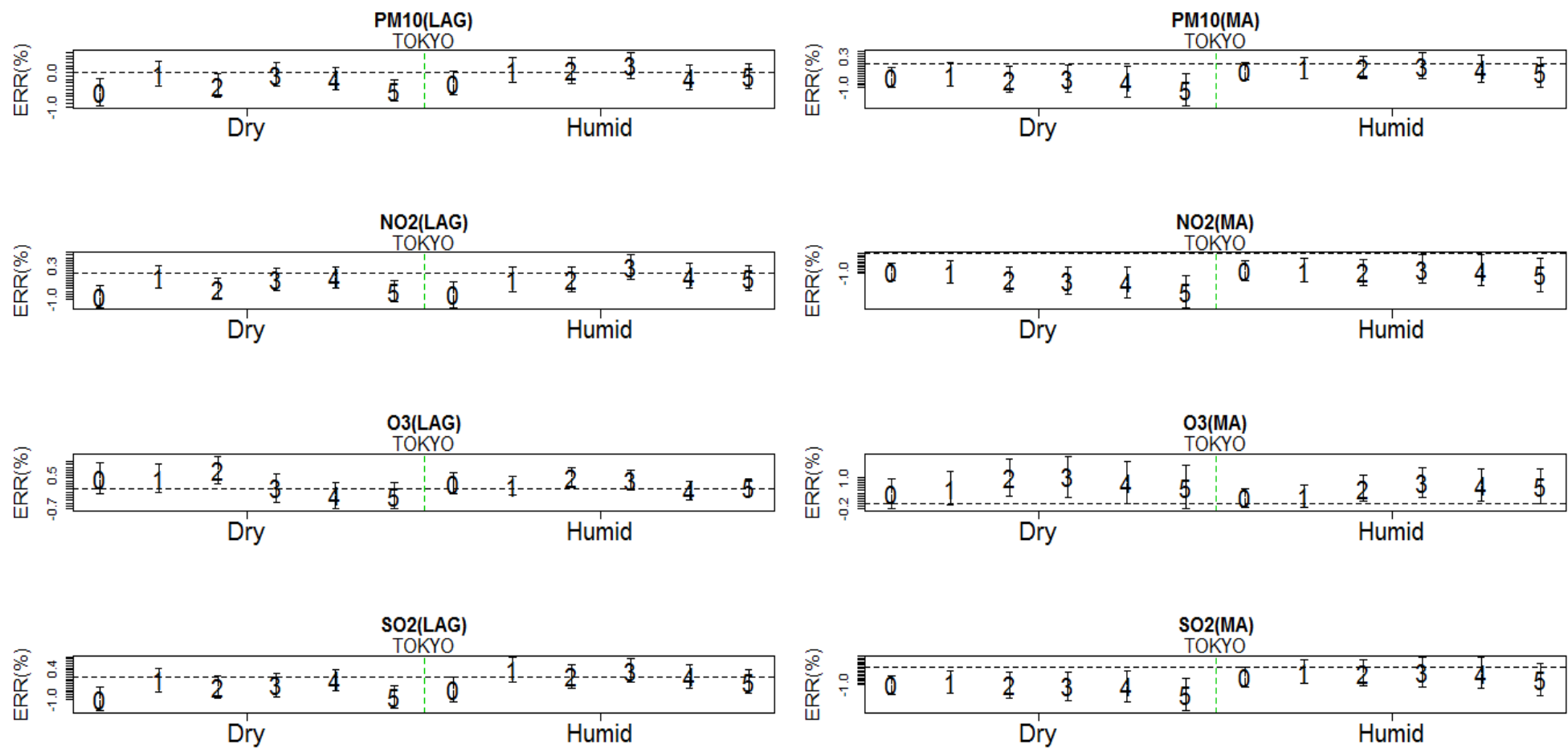


Figure 11. Effects of air pollution on mortality by humidity level for a IQR increment of pollutant concentration in Tokyo

3.4 계절 내 습도수준 별 대기오염 사망 영향

서울의 경우 3.2(계절 별 대기오염 사망 영향)에서 PM_{10} , SO_2 의 사망 영향은 여름에 높았다. 이 때 습도 수준까지 고려하여 PM_{10} , SO_2 의 사망 영향을 보았을 때 여름 중에서도 습한 날 그 영향이 높음을 알 수 있다. NO_2 , O_3 은 건조한 여름에 단일 지연 농도에 한하여 사망의 유의한 영향이 가장 크게 나타났으며 NO_2 의 사망에 대한 평균 지연 효과는 건조한 겨울에 가장 높았다.

상하이의 경우 PM_{10} 은 건조한 여름에, O_3 은 건조한 겨울에, SO_2 는 습한 가을에 사망에 대한 단일 지연 영향과 평균 지연 영향이 가장 컸다. NO_2 는 사망에 대한 단일 지연 영향이 건조한 봄에 유의하고 크게 나타났으며 평균 지연 영향은 건조한 겨울에 유의하고 크게 나타났다.

도쿄의 경우 사망에 대한 PM_{10} 의 평균 지연 영향은 건조한 여름에 유의했다. SO_2 , NO_2 의 오염물질에 한해서는 사망에 유의한 영향을 미치는 계절 습도 범주가 없었으나 유의성과 상관없이 영향의 크기만 고려했을 때엔 건조한 여름에 사망 영향이 가장 컸다. 사망에 대한 O_3 의 영향은 단일 지연 영향, 평균 지연 영향 모두 건조한 겨울에 유의하고 그 값 또한 컸다.

Table 8 Effects of air pollution on mortality by season humidity for a IQR increment of pollutant concentration in Seoul

(ERR% (95% CI) : The greatest effects of single day lag and greatest effects of moving average day lag were selected)

pollutant	Lags	Dry_Spring	Humid_Spring	Dry_Summer	Humid_Summer
PM ₁₀	LAG	0.40 (-0.03 , 0.84) : 2	0.79 (-0.14 , 1.73) : 3	0.74 (-0.95 , 2.46) : 2	1.37 (0.23 , 2.53) : 2
	MA	0.81 (0.16 , 1.47) : 3	0.52 (-0.82 , 1.88) : 3	0.84 (-1.42 , 3.16) : 2	1.74 (0.22 , 3.28) : 3
NO ₂	LAG	1.04 (-0.25 , 2.36) : 3	1.58 (-0.29 , 3.48) : 2	3.01 (0.15 , 5.95) : 4	1.62 (-0.16 , 3.43) : 2
	MA	1.26 (-0.89 , 3.47) : 4	2.51 (-0.87 , 6.01) : 4	3.14 (-0.87 , 7.32) : 5	2.07 (-0.35 , 4.54) : 2
O ₃	LAG	0.66 (-0.99 , 2.34) : 1	1.20 (-0.93 , 3.38) : 0	2.02 (0.08 , 4.00) : 2	0.92 (0.04 , 1.82) : 2
	MA	0.82 (-1.18 , 2.86) : 1	1.77 (-0.82 , 4.42) : 1	1.23 (-1.51 , 4.03) : 3	1.25 (-0.23 , 2.75) : 3
SO ₂	LAG	0.71 (-0.44 , 1.86) : 3	0.87 (-1.04 , 2.82) : 3	2.04 (-1.35 , 5.55) : 1	4.40 (1.66 , 7.23) : 1
	MA	1.16 (-0.64 , 2.99) : 4	1.14 (-1.50 , 3.85) : 3	1.56 (-2.12 , 5.38) : 1	6.13 (2.35 , 10.06) : 3
pollutant	Lags	Dry_Fall	Humid_Fall	Dry_Winter	Humid_Winter
PM ₁₀	LAG	0.47 (-0.83 , 1.79) : 1	1.32 (0.18 , 2.48) : 2	0.7 (-0.32 , 1.72) : 1	-0.04 (-1.37 , 1.3) : 2
	MA	0.59 (-1.17 , 2.37) : 3	1.59 (0.06 , 3.14) : 4	0.84 (-0.65 , 2.35) : 3	0.84 (-1.07 , 2.79) : 4
NO ₂	LAG	0.66 (-0.8 , 2.15) : 3	2.15 (0.58 , 3.74) : 4	1.14 (-0.17 , 2.47) : 3	0.77 (-0.86 , 2.43) : 4
	MA	1.00 (-1.3 , 3.35) : 4	2.76 (0.66 , 4.92) : 4	3.12 (0.81 , 5.49) : 4	1.00 (-1.65 , 3.72) : 4
O ₃	LAG	1.16 (-0.8 , 3.15) : 3	1.02 (-0.62 , 2.68) : 5	0.37 (-2.27 , 3.08) : 3	0.45 (-3.02 , 4.04) : 5
	MA	0.42 (-2.61 , 3.55) : 5	0.14 (-2.24 , 2.58) : 3	0.86 (-3.84 , 5.79) : 5	4.84 (-0.66 , 10.64) : 3
SO ₂	LAG	0.58 (-0.99 , 2.18) : 4	2.91 (0.85 , 5.01) : 4	0.53 (-0.51 , 1.58) : 4	0.78 (-0.60 , 2.17) : 4
	MA	0.81 (-1.75 , 3.44) : 5	3.85 (1.43 , 6.33) : 4	1.47 (-0.29 , 3.26) : 5	1.65 (-0.28 , 3.62) : 4

IQR of air pollution : 38 μ g/m³ PM₁₀, 18ppb NO₂, 25ppb O₃, 3ppb SO₂

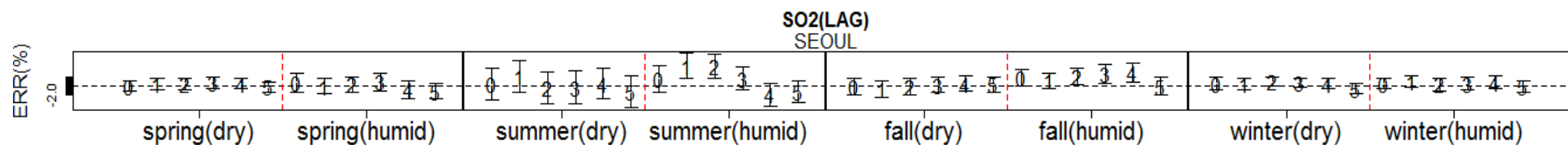
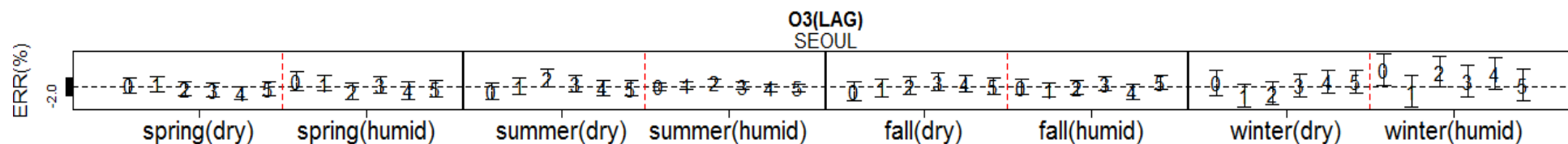
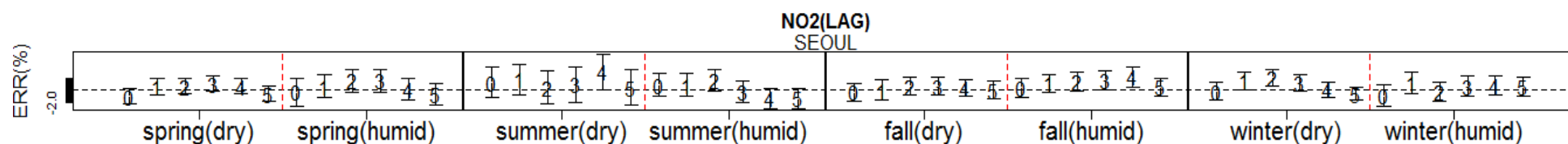
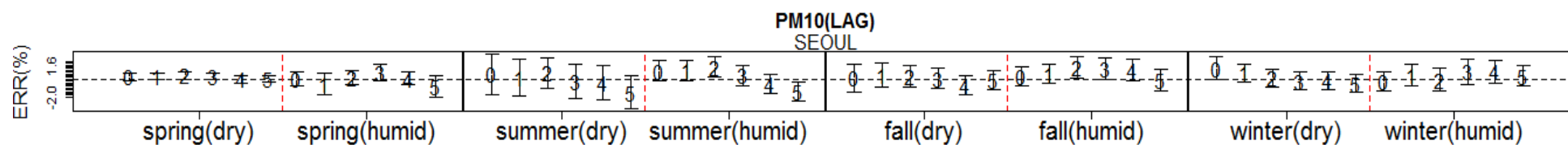


Figure 12. Lag effects of air pollution on mortality by season humidity for a IQR increment of pollutant concentration in Seoul

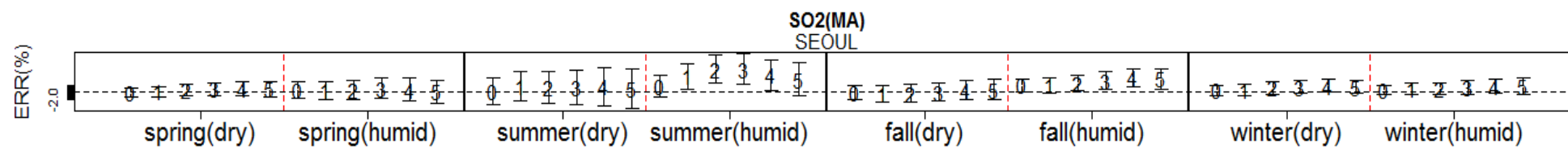
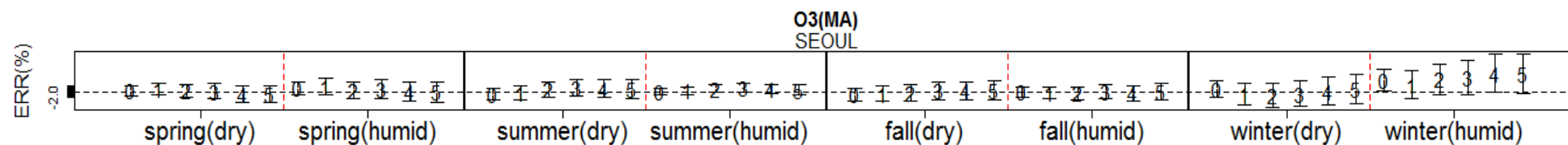
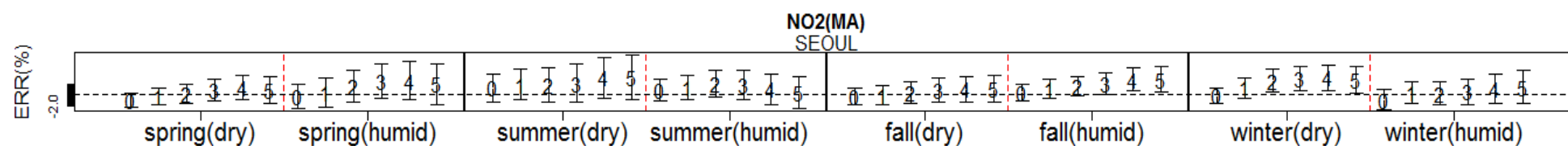
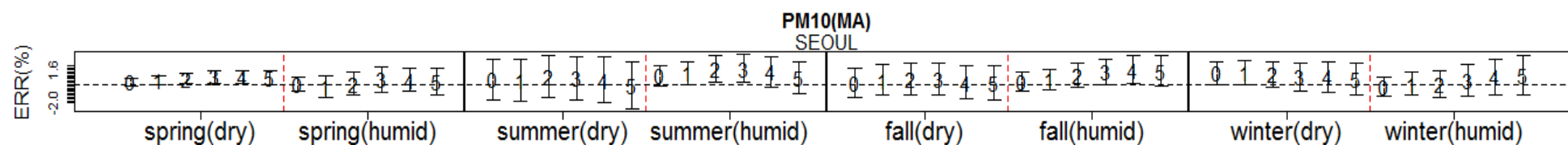


Figure 13. Moving average effects of air pollution on mortality by season humidity for a IQR increment of pollutant concentration in Seoul

Table 9 Effects of air pollution on mortality by season humidity for a IQR increment of pollutant concentration in Shanghai

(ERR% (95% CI) : The greatest effects of single day lag and greatest effects of moving average day lag were selected)

pollutant	Lags	Dry_Spring	Humid_Spring	Dry_Summer	Humid_Summer
PM ₁₀	LAG	1.15 (0.10 , 2.2) : 1	-0.61 (-1.88 , 0.68) : 2	2.91 (0.52 , 5.35) : 0	0.84 (-0.96 , 2.67) : 4
	MA	1.58 (0.07 , 3.11) : 3	-1.17 (-2.83 , 0.51) : 0	2.98 (0.33 , 5.71) : 1	1.08 (-1.67 , 3.91) : 5
NO ₂	LAG	2.76 (1.08 , 4.47) : 3	1.24 (-0.63 , 3.14) : 2	1.25 (-1.48 , 4.06) : 0	1.57 (-0.43 , 3.62) : 5
	MA	3.88 (1.32 , 6.51) : 4	2.05 (-0.74 , 4.91) : 5	1.66 (-1.6 , 5.03) : 4	1.43 (-1.30 , 4.23) : 5
O ₃	LAG	0.8 (-0.75 , 2.37) : 2	1.89 (0.06 , 3.76) : 1	1.33 (-0.19 , 2.88) : 0	0.36 (-0.77 , 1.5) : 4
	MA	0.44 (-2.07 , 3.02) : 4	3.73 (0.69 , 6.86) : 5	1.94 (-0.15 , 4.09) : 4	0.31 (-1.48 , 2.13) : 5
SO ₂	LAG	1.38 (-0.17 , 2.95) : 3	0.93 (-0.88 , 2.77) : 3	1.72 (-0.63 , 4.11) : 4	2.24 (0.04 , 4.5) : 4
	MA	2.52 (0.03 , 5.06) : 5	1.57 (-1.2 , 4.41) : 5	2.03 (-1.13 , 5.29) : 5	2.08 (-1.21 , 5.49) : 5
pollutant	Lags	Dry_Fall	Humid_Fall	Dry_Winter	Humid_Winter
PM ₁₀	LAG	1.30 (0.09 , 2.52) : 0	1.00 (-0.41 , 2.42) : 5	0.54 (-0.51 , 1.6) : 0	0.36 (-0.69 , 1.42) : 5
	MA	1.45 (-0.27 , 3.2) : 5	0.78 (-0.68 , 2.26) : 0	2.77 (1.14 , 4.42) : 5	0.77 (-0.32 , 1.89) : 0
NO ₂	LAG	1.63 (0.03 , 3.26) : 0	2.72 (0.84 , 4.63) : 0	2.28 (0.82 , 3.76) : 0	1.61 (0.17 , 3.07) : 0
	MA	1.65 (-0.52 , 3.87) : 5	4.26 (1.74 , 6.85) : 5	5.22 (3.11 , 7.38) : 5	4.06 (2.14 , 6.02) : 5
O ₃	LAG	0.90 (-1.02 , 2.85) : 4	0.70 (-1.05 , 2.49) : 4	4.10 (1.10 , 7.19) : 4	0.72 (-2.42 , 3.97) : 4
	MA	0.47 (-2.21 , 3.21) : 4	0.04 (-2.06 , 2.19) : 0	10.68 (5.85 , 15.73) : 4	0.29 (-2.78 , 3.45) : 0
SO ₂	LAG	0.09 (-1.58 , 1.80) : 0	2.49 (0.26 , 4.77) : 0	1.44 (0.17 , 2.73) : 0	0.96 (-0.27 , 2.19) : 0
	MA	0.09 (-1.58 , 1.80) : 0	3.49 (0.49 , 6.57) : 5	1.44 (0.17 , 2.73) : 0	3.04 (1.26 , 4.84) : 5

IQR of air pollution : 66µg/m³ PM₁₀, 31ppb NO₂, 48ppb O₃, 36ppb SO₂

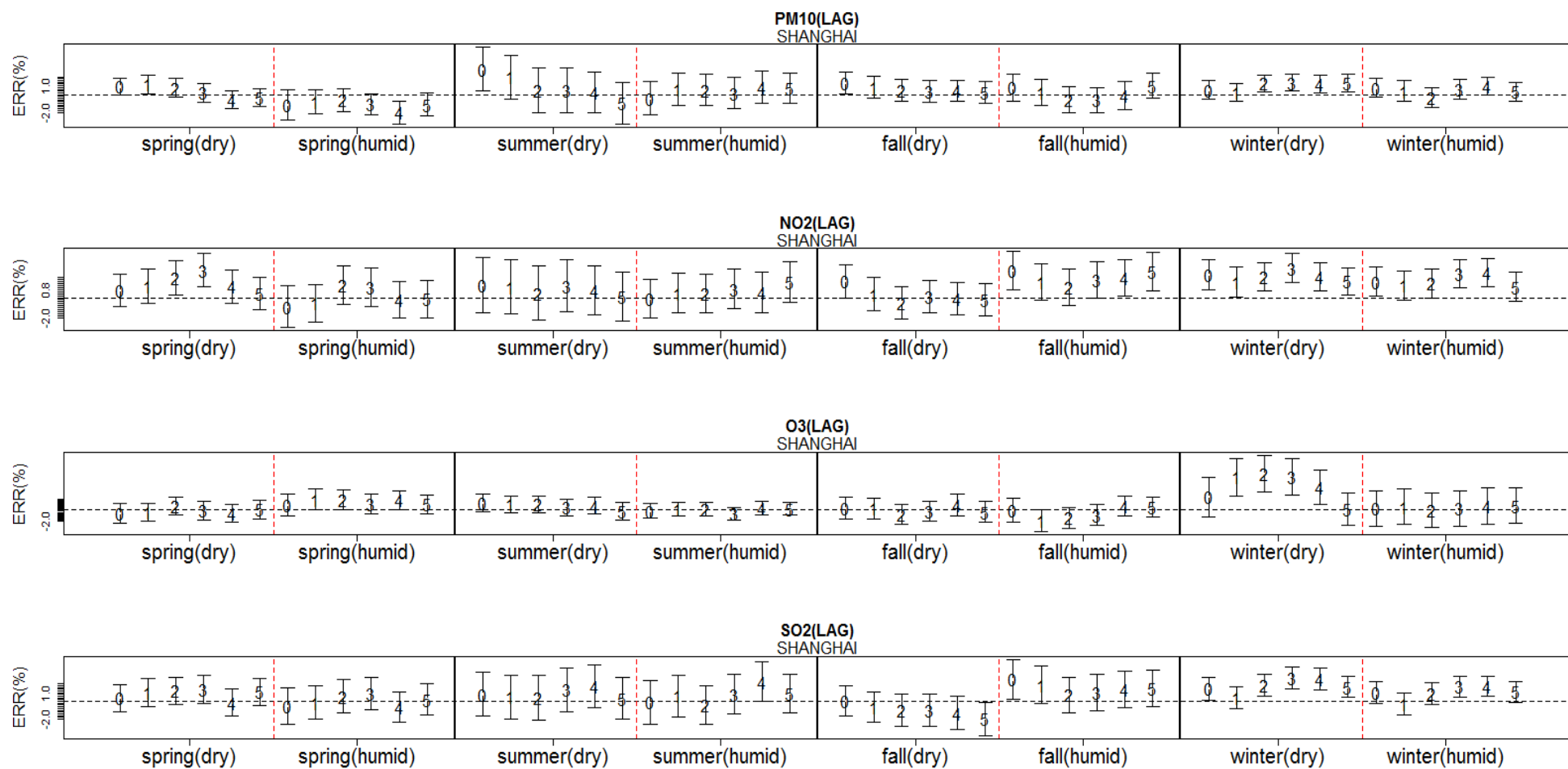


Figure 14. Lag effects of air pollution on mortality by season humidity for a IQR increment of pollutant concentration in Shanghai

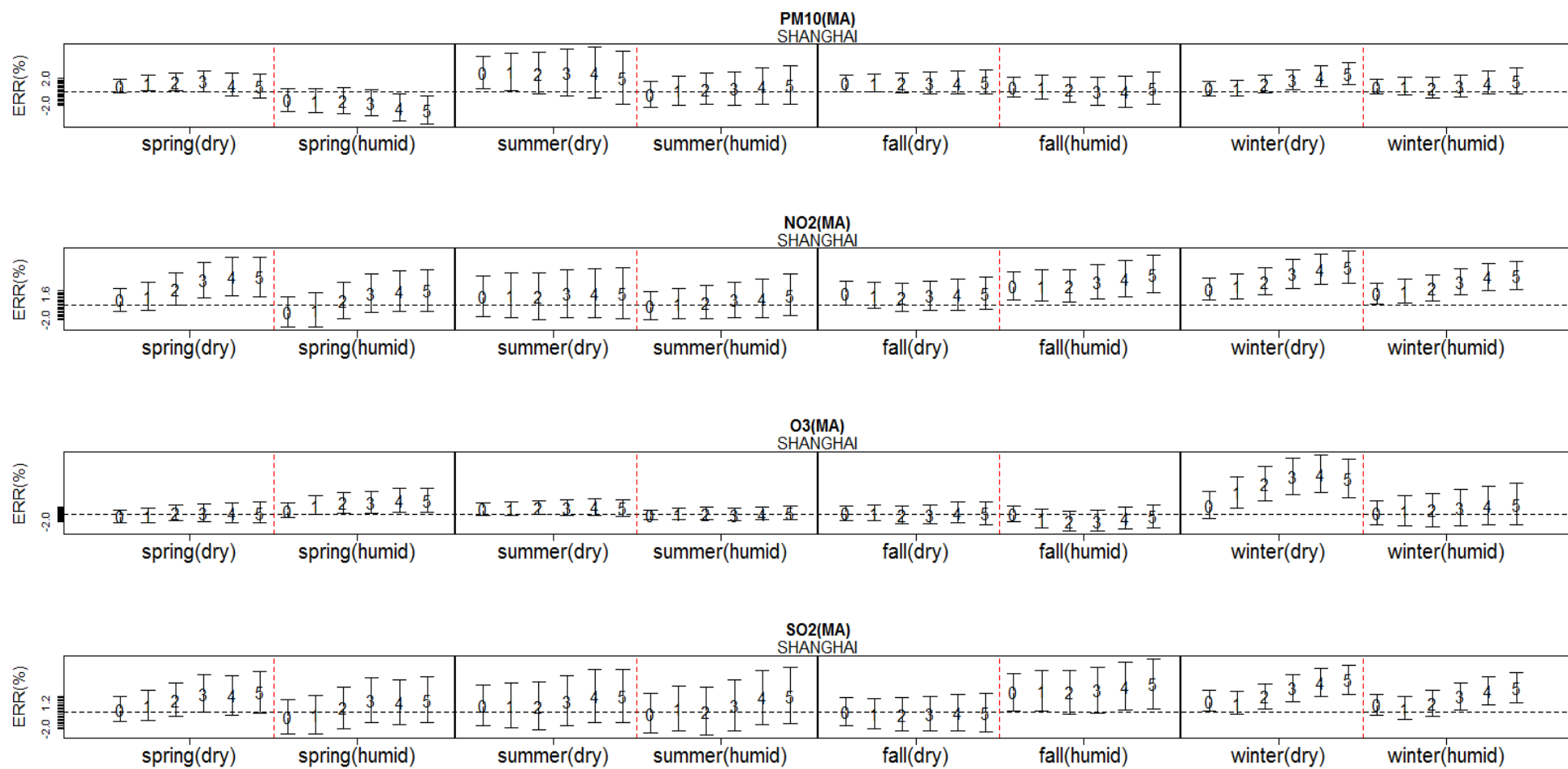


Figure 15. Moving average effects of air pollution on mortality by season humidity for a IQR increment of pollutant concentration in Shanghai

Table 10 Effects of air pollution on mortality by season humidity for a IQR increment of pollutant concentration in Tokyo

(ERR% (95% CI) : The greatest effects of single day lag and greatest effects of moving average day lag were selected)

pollutant	Lags	Dry_Spring	Humid_Spring	Dry_Summer	Humid_Summer
PM ₁₀	LAG	-0.15 (-1.00 , 0.71) : 3	0.45 (-0.50 , 1.4) : 1	1.45 (-0.25 , 3.19) : 0	0.34 (-0.25 , 0.94) : 5
	MA	-0.59 (-1.54 , 0.37) : 0	0.35 (-1.07 , 1.79) : 3	1.71 (0.02 , 3.43) : 3	0.37 (-0.57 , 1.32) : 5
NO ₂	LAG	0.08 (-0.74 , 0.91) : 3	0.11 (-0.85 , 1.08) : 3	1.77 (-0.24 , 3.83) : 3	0.59 (-0.25 , 1.45) : 3
	MA	-0.99 (-1.81, -0.16) : 0	-1.22 (-2.74 , 0.32) : 3	2.63 (-0.18 , 5.52) : 4	0.37 (-1.05 , 1.82) : 5
O ₃	LAG	1.39 (0.40 , 2.38) : 2	1.37 (0.37 , 2.38) : 0	0.93 (-0.20 , 2.08) : 0	0.32 (-0.10 , 0.73) : 3
	MA	2.53 (0.85 , 4.23) : 3	3.08 (1.49 , 4.70) : 3	1.39 (0.11 , 2.68) : 1	0.43 (-0.32 , 1.19) : 5
SO ₂	LAG	-0.11 (-1.12 , 0.90) : 2	1.04 (-0.02 , 2.10) : 2	1.69 (-0.02 , 3.44) : 1	0.82 (-0.08 , 1.74) : 1
	MA	-0.75 (-2.21 , 0.73) : 3	0.81 (-0.76 , 2.40) : 3	2.1 (-0.09 , 4.35) : 3	0.74 (-0.78 , 2.27) : 5
pollutant	Lags	Dry_Fall	Humid_Fall	Dry_Winter	Humid_Winter
PM ₁₀	LAG	0.48 (-0.18 , 1.15) : 1	0.27 (-0.39 , 0.93) : 1	-0.42 (-0.90 , 0.06) : 1	-0.33 (-1.06 , 0.41) : 1
	MA	0.44 (-0.42 , 1.31) : 1	0.06 (-0.68 , 0.81) : 1	-1.15 (-1.77 , -0.53) : 1	-0.69 (-1.52 , 0.15) : 1
NO ₂	LAG	0.58 (-0.32 , 1.5) : 1	0.27 (-0.61 , 1.17) : 1	-0.41 (-0.98 , 0.17) : 1	-0.51 (-1.62 , 0.62) : 1
	MA	0.33 (-0.79 , 1.45) : 1	0.12 (-1.31 , 1.57) : 4	-1.67 (-2.41, -0.93) : 1	-1.57 (-3.39, 0.28) : 4
O ₃	LAG	1.05 (-0.01 , 2.11) : 2	0.60 (-0.20 , 1.39) : 2	1.88 (0.60 , 3.18) : 2	0.66 (-1.79 , 3.17) : 2
	MA	1.77 (0.17 , 3.40) : 3	0.78 (-0.44 , 2.01) : 3	3.65 (1.27 , 6.10) : 3	7.24 (2.98 , 11.66) : 3
SO ₂	LAG	0.54 (-0.54 , 1.63) : 1	0.20 (-0.77 , 1.18) : 1	-0.65 (-1.36, 0.07) : 1	-0.36 (-1.40 , 0.68) : 1
	MA	0.09 (-1.13 , 1.32) : 1	-0.24 (-1.39 , 0.91) : 1	-1.81 (-2.65, -0.95) : 1	-1.06 (-2.25 , 0.15) : 1

IQR of air pollution : 29μg/m³ PM₁₀, 15ppb NO₂, 26ppb O₃, 3ppb SO₂

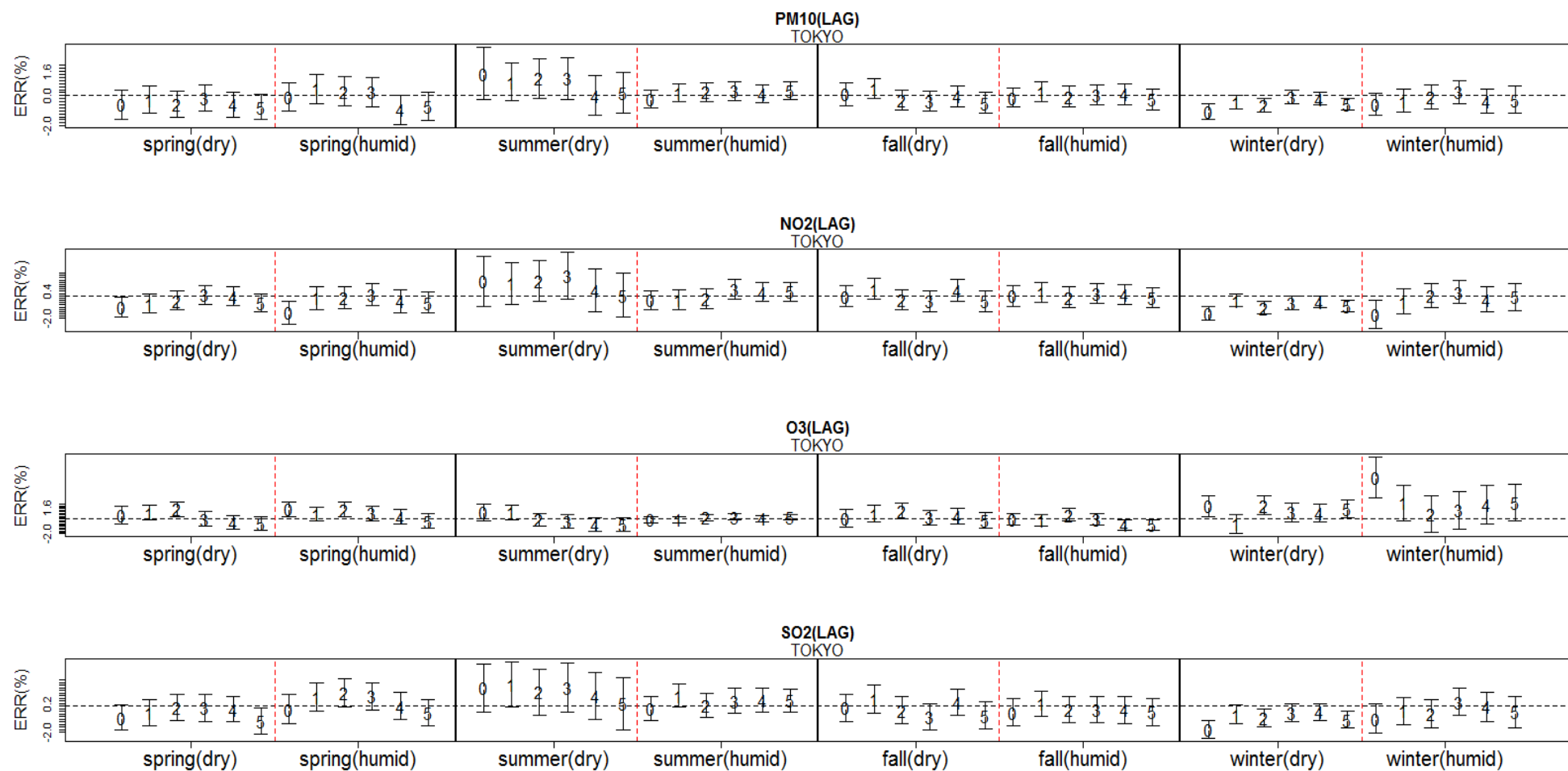


Figure 16. Lag effects of air pollution on mortality by season humidity for a IQR increment of pollutant concentration in Tokyo

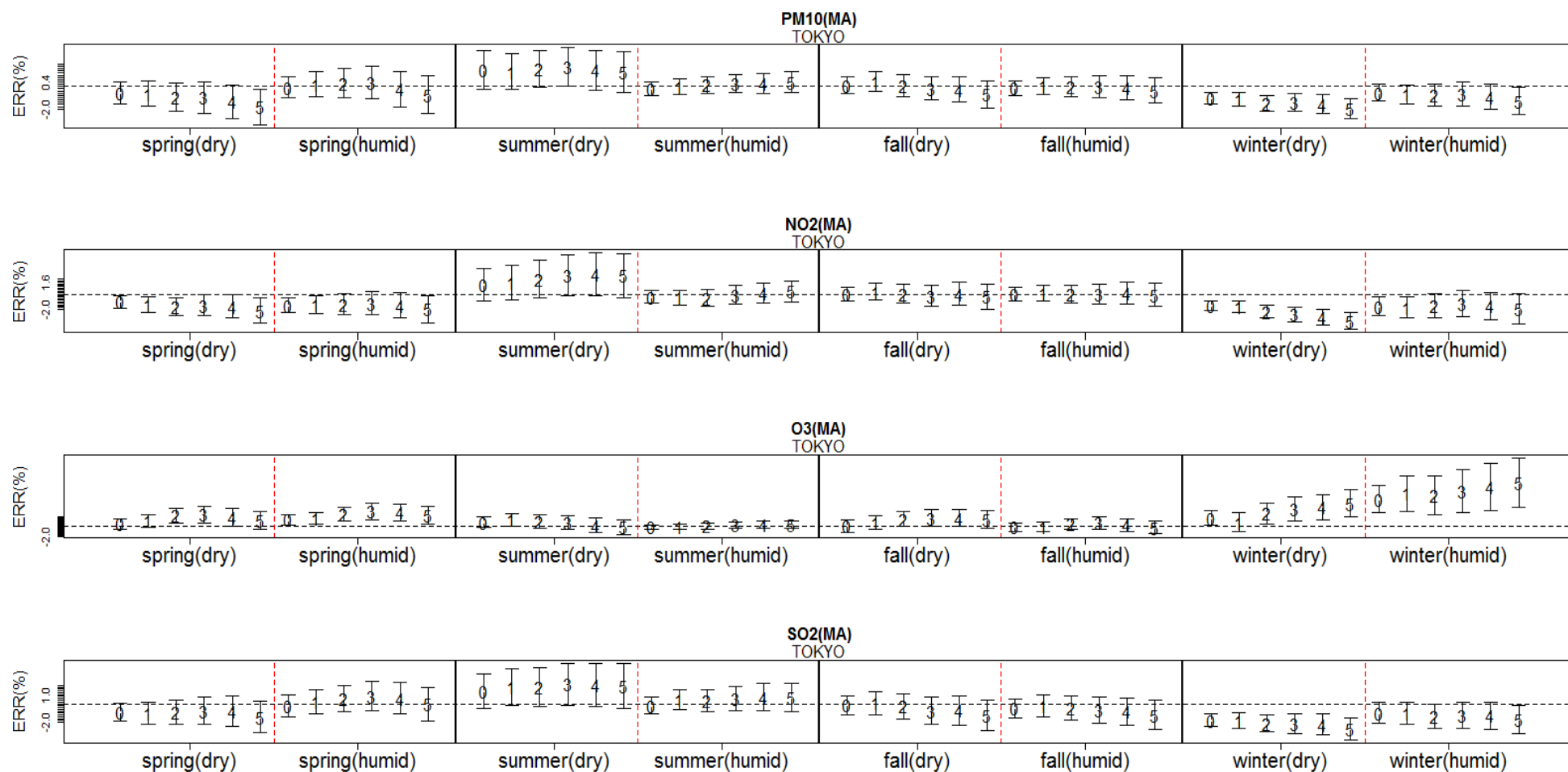


Figure 17. Moving average effects of pollution on mortality with IQR increment of pollutant concentration in Tokyo

4. 결론 및 고찰

본 연구는 서울, 상하이, 도쿄에서 계절 및 습도 수준에 따라 대기오염이 비사고 사망에 미치는 영향 정도가 어떻게 다른지를 확인하였다. 연구 결과, 계절 및 습도 수준은 대기오염 사망 영향의 조정 요인임을 알 수 있었다.

서울의 경우 PM_{10} , SO_2 , O_3 이 사망에 미치는 영향은 여름에 컸다. 이는 PM_{10} 의 사망 영향이 고온의 여름에 높다는 기존연구(Yi, Hong et al. 2010)와 PM_{10} , SO_2 , O_3 가 여름에 사망에 유의한 영향을 미친다는 기존연구(Park, Hong et al. 2011)의 결과와 일치한다. 다만 NO_2 에 한해서는 결과가 다르다.

PM_{10} , SO_2 으로부터 생성되는 황산염(Sulfate)은 전이 원소(transition metal)의 촉진 과정을 통해 발생한다. 이 과정은 고온에서 활발히 일어나는 것으로 알려져 있으며 이로 인해 여름에 대기오염의 농도가 낮음에도 불구하고 황산염 농도는 높아진다. 황산염은 석탄 발전소나 산업단지 굴뚝에서 주로 배출되는 물질로 건강에 치명적인 것으로 알려져 있다. 여름에 대기오염 사망 영향이 큰 이유는 고온 환경으로 인해 황산염 생성이 활발하기 때문인 것으로 예측할 수 있다 (Yi, Hong et al. 2010). 또한 서울은 다른 두 도시와는 달리 여름에 PM_{10} , SO_2 의 사망 영향이 건조할 때보다 습할 때 더 높았다. PM_{10} , SO_2 수준이 건조한 여름보다 습한 여름에 더 높음을 고려한다면 본 연구의 결과는 이해하기 어려울 수 있다. 이러한 결과가 나온 이유는 본 연구자의 습도 수준 정의에 의한 건조한 여름의 일수(연평균 17일)가 습한 여름 일수(연평균 75일)보다 더 적기 때문인 것으로 예상할 수 있다.

상하이의 경우 계절 별로 대기오염 사망 영향을 보았을 때 겨울에 그 값이 모두 컸다. 해당 결과는 (Kan, London et al. 2008)의 결과와 일치한다. 이는 기본적으로 겨울에 PM_{10} , SO_2 , NO_2 의 대기오염의 농도가 높으며(O_3 는 여름에 농도가 높음), 세 대기오염물질이 서로 강하게 상관되어 있어 겨울에 사망 영향이 크게 나타나는 것으로 예상할 수 있다. 또한 상하이는 세 도시 중 연 평균온도와 연 평균습도가 가장 높다. 이러한 이유로 상하이에서는 사람들이 높은 온도와 습도 때문에 추운 계절보다 따뜻한 계절에 에어컨과 같은 냉난방 기기들을 더 자주 사용한다. 따라서 따뜻한 계절의 환기 횟수가 추운 계절의 환기 횟수보다 적어 따뜻한 계절에서는

대기오염에 대한 노출이 적다. 일례로, 상하이 거주민 1106명을 대상으로 한 에어컨 사용 여부 설문 조사에서 32.7%의 사람들이 겨울에 단 한번도 냉난방 기기를 틀지 않는다고 답했다. 여름에 이 수치는 3.7%에 불과했다(Long 2007).

O₃의 생성은 광화학 반응과 밀접하게 관계되어 있어 다른 계절에 비해 여름에 농도가 가장 높다. 하지만 상하이의 경우 여름에 O₃의 농도가 가장 높음에도 불구하고 건조한 겨울에 사망 영향이 가장 컸다. Figure 18에서는 상하이의 여름과 겨울의 O₃증가에 따른 사망률 추이를 보여주는데, 겨울보다 여름에 O₃농도가 증가함에 따라 사망률이 더 크게 증가함을 알 수 있다. 겨울철 O₃와 사망간 양-반응 곡선(Dose-response curve)은 증가 추이를 보이지 않지만, 분석 결과는 겨울에 O₃의 사망 영향이 컸다. 이러한 결과의 이유는 앞서 설명한 겨울철 대기오염 사망 영향이 큰 이유(겨울철 대기오염 노출 빈도 높음)와 더불어 인플루엔자 보정 여부로 설명할 수 있다. 본 연구 진행 시 서울, 도쿄와는 다르게 상하이의 인플루엔자 자료를 얻지 못하였다. 따라서 상하이 자료를 분석할 시 인플루엔자에 대한 보정이 불가하였다. 이에 따라 겨울에 주로 집중되어 있을 인플루엔자에 대한 사망 영향을 보정하지 못했다. 따라서 겨울철 대기오염의 높은 사망 영향의 일부는 인플루엔자에서 기인한 것이라 예상할 수 있다.

상하이는 따뜻한 계절에 강수가 집중되어 있고, 이 강수는 야외활동을 줄여 대기오염에 대한 노출을 감소시키는 요인이 된다. 상하이의 추운 계절은 날이 건조하고 기상 변동이 적어 사람들의 야외활동이 잦고 이로 인해 대기오염에 대한 노출은 증가한다. 본 연구 결과 PM₁₀, SO₂, NO₂ 모두 건조할 때 사망 영향이 더 컸는데 이는 위와 같은 이유로 설명 가능하다.

춥고 건조한 때에 대기오염의 사망 영향이 높은 아시아권 도시는 지금까지 연구된 바에 따르면 홍콩과 상하이 둘 뿐이다(Chit-Ming Wong 2001, Kan, London et al. 2008). 이는 대기오염과 기상 간의 교호작용이 지역마다 차이가 있을 수 있음을 시사한다.

도쿄 대부분의 기상 조건에서 대기오염의 사망 영향은 통계적으로 유의하지 않았다. 도쿄에서 통계적으로 유의한 사망 영향을 보인 대기오염물질은 대부분 O₃이었다. 본 연구 대상인 세 도시 중 평균적인 대기오염 수준은 상하이, 서울,

도쿄 순으로 크다. 상하이는 다른 두 도시에 비해 매우 큰 대기오염 수준을 보이고 있으나 서울과 도쿄는 비교적 비슷한 값을 보인다. 서울과 도쿄의 대기오염 수준을 비교했을 때 PM_{10} , NO_2 , SO_2 농도는 서울이 모두 높지만 O_3 농도는 도쿄가 높다. 이는 도쿄 내 O_3 수준이 다른 대기오염물질에 비해 비교적 높음을 시사한다. 도쿄의 대기오염 사망 영향이 주로 O_3 에 한해서만 통계적으로 유의한 이유는 이 때문인 것으로 예상할 수 있다. 도쿄는 서울과 유사하게 주로 여름에 대기오염의 사망 영향이 큰 경향을 보였다. 이는 서울이 여름에 대기오염 사망 영향이 높은 이유와 같은 맥락으로 이해할 수 있다. O_3 의 사망 영향은 서울의 경우에 건조한 여름에 컸던 반면 도쿄에서는 건조한 겨울에 사망 영향이 컸다. O_3 는 광화학 반응을 통해 생성되므로 O_3 의 건강 영향 또한 일조시간과 관계가 있을 것으로 예상된다. 서울의 평균 일조시간이 겨울보다 여름에 높은 것에 반해 도쿄의 일조시간은 겨울에 가장 높다. 이 사실은 도쿄의 겨울 O_3 의 농도가 여름보다 낮음에도 불구하고 사망 영향이 높은 이유를 부분적으로 설명해 줄 것이다. 또한 Figure 18은 도쿄의 여름 및 겨울의 O_3 와 사망간의 양-반응 곡선(Dose-response curve)인데 해당 그림에서는 O_3 농도 증가에 따른 사망 증가 추이가 여름보다 겨울에 더 가파름을 알 수 있다. 따라서 Figure 18의 양-반응 곡선(Dose-response curve)은 겨울에 O_3 의 사망 영향이 크게 나온 본 연구의 분석 결과를 뒷받침한다.

본 연구의 장점은 해당 연구가 계절과 습도를 동시에 고려해 대기오염의 사망 영향을 여러 도시에서 분석한 첫 번째 연구라는 점이다. 지금까지 이와 비슷한 주제의 연구는 홍콩, 하나의 도시에서 이루어진 (Qiu, Yu et al. 2013) 뿐 인 것으로 알고 있다.(2015년 1월 15일)

본 연구의 한계점은 다음과 같다. 먼저, 결과 기술 시 대기오염의 사망 영향이 제일 큰 모형만 선택하여 기술하였는데 해당 범주가 다른 범주와 유의한 차이를 보이는지에 대한 분석은 이뤄지지 않았다. 예를 들어 서울에서 PM_{10} 의 사망영향은 여름에 유의하고 가장 크지만 여름과 겨울에 PM_{10} 의 사망 영향이 통계적으로 유의한 차이가 있는지는 검정하지 않았다. 만약 각 기상조건의 범주별로 대기오염의 사망 영향에 대한 차이 검정이 이뤄졌다면 계절, 습도와 같은 기상

조건이 대기오염의 사망 영향 조정 요인임을 더 분명하게 보일 수 있었을 것이다. 또한 습도 수준은 강수량과 관계가 깊은데 강수량에 대한 보정이 이루어지지 않았다. 마지막으로, 계절에 대한 정의는 비교적 객관적으로 내릴 수 있으나 건조한 날과 습한 날의 정의는 연구자에 따라 달라질 수 있다. 이번 연구에서 습도 수준은 도시별 각 연간 습도 중앙값을 기준으로 정의되었다. 이는 (Qiu, Yu et al. 2013)에서 사용한 습도 수준 구분 방법을 참고한 것이다. 하지만 연구자에 따라 습한 날과 건조한 날을 구분하는 기준은 달라질 수 있으며 이로 인한 분석 결과 또한 이번 연구와는 상이하게 나올 수도 있다.

이번 연구는 아시아 3개 도시의 대기오염에 대한 사망 영향이 계절과 습도 수준에 따라 어떻게 다른지를 분석하는 연구로 계절과 습도 수준 모두 대기오염의 사망 영향 조정 요인임을 알 수 있었다. 다만 각 도시 별로 기상 특성이 달라 같은 계절 및 습도 수준 범주더라도 대기오염의 사망 영향이 달랐다.

이번 연구의 결과는 특정 기상 조건에서의 대기오염 건강 영향에 관한 정보와 대기오염의 건강 영향 평가에 있어 계절과 습도의 상호작용에 대한 정보를 제공할 것으로 기대된다. 따라서 본 연구는 대기오염과 관련된 건강문제 예방 및 관리 정책에 근거를 제공하는 자료로서 활용 가능하다.

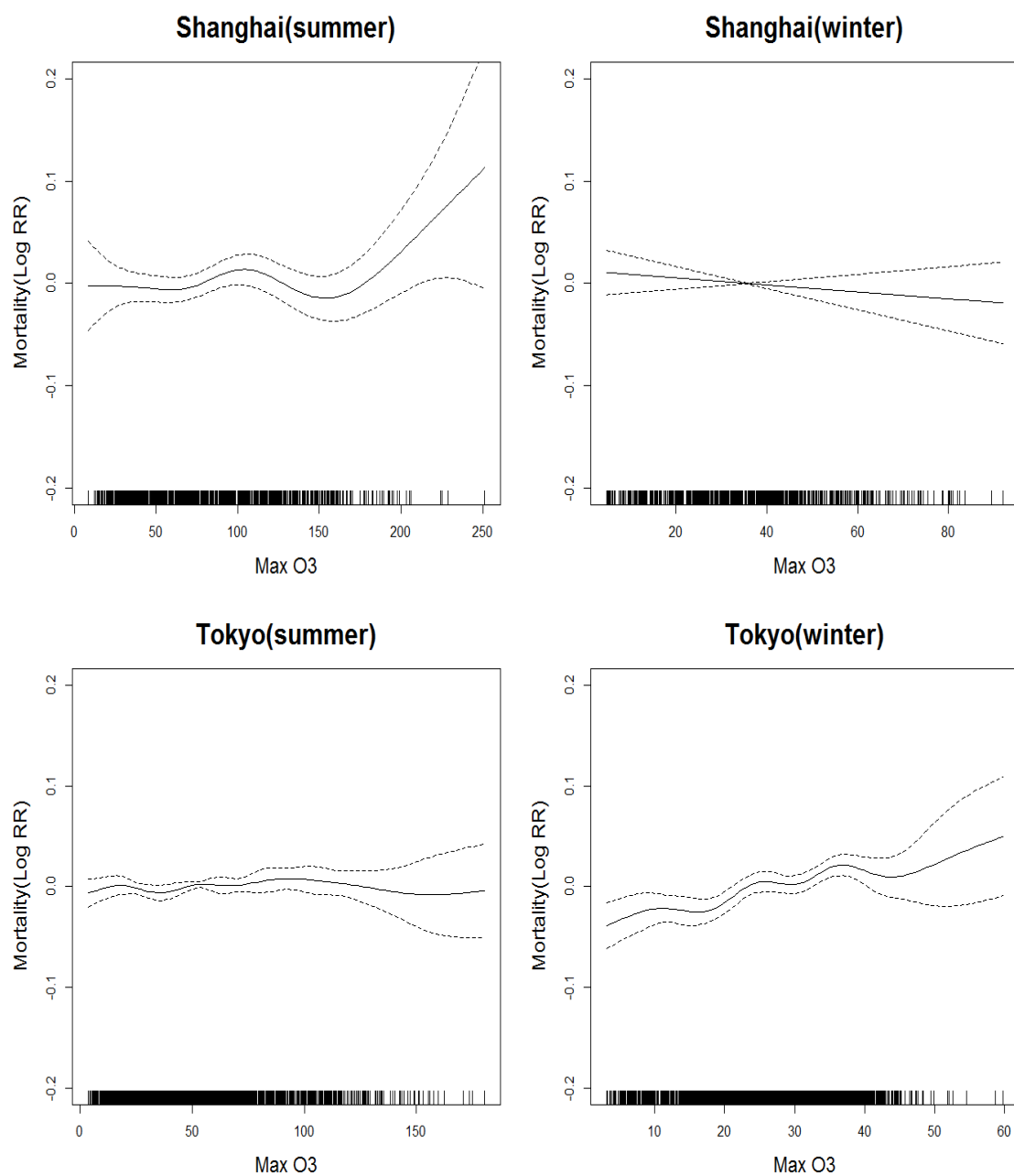


Figure 18. Dose-response curve between mortality and O₃(daily max value) by season in Shanghai and Tokyo

부록

Table 11,12,13은 기상 범주를 계절과 습도 수준으로 구분했을 때, 각각 어떠한 기상 범주에서 대기오염의 사망 영향이 크고 유의한지를 도시별로 정리한 표이다.

각 기상 범주 중 사망 영향이 통계적으로 유의한($p\text{-value}<0.05$) 범주만 문자로 표기하였으며 그 중에서도 사망 영향이 가장 큰 기상 범주는 음영으로 표기하였다.

Table 11을 예로 들어보면 서울의 단일 이전 모형(LAG model)에서 PM_{10} 의 사망 영향은 습한 여름과 습한 가을에 통계적으로 유의하였으며 이 중 음영으로 표기된 습한 여름이 PM_{10} 사망 영향이 가장 큰 기상 조건임을 알 수 있다.

Table 11 Statistically significant Season-Humidity categories in Seoul (Highlighted category has the largest effects of air pollution on mortality)

SEOUL		Dry Spring	Humid Spring	Dry Summer	Humid Summer	Dry Fall	Humid Fall	Dry Winter	Humid Winter
PM₁₀	LAG				humid summer		humid fall		
	MA	dry spring			humid summer		humid fall		
NO₂	LAG			dry summer			humid fall		
	MA						humid fall	dry winter	
O₃	LAG			dry summer	humid summer				
	MA								
SO₂	LAG				humid summer		humid fall		
	MA				humid summer		humid fall		

Table 12 Statistically significant Season-Humidity categories in Shanghai (Highlighted category has the largest effects of air pollution on mortality)

SHANGHAI		Dry Spring	Humid Spring	Dry Summer	Humid Summer	Dry Fall	Humid Fall	Dry Winter	Humid Winter
PM₁₀	LAG	dry spring		dry summer		dry fall			
	MA	dry spring		dry summer				dry winter	
NO₂	LAG	dry spring				dry fall	humid fall	dry winter	humid winter
	MA	dry spring					humid fall	dry winter	humid winter
O₃	LAG		humid spring					dry winter	
	MA		humid spring					dry winter	
SO₂	LAG				humid summer		humid fall	dry winter	
	MA	dry spring					humid fall	dry winter	humid winter

Table 13 Statistically significant Season-Humidity categories in Tokyo (Highlighted category has the largest effects of air pollution on mortality)

TOKYO		Dry Spring	Humid Spring	Dry Summer	Humid Summer	Dry Fall	Humid Fall	Dry Winter	Humid Winter
PM ₁₀	LAG								
	MA			dry summer					
NO ₂	LAG								
	MA								
O ₃	LAG	dry spring	humid spring					dry winter	
	MA	dry spring	humid spring	dry summer		dry fall		dry winter	
SO ₂	LAG								
	MA								

사사

본 연구는 환경부의 폐자원에너지화 전문인력양성사업의 지원을 받았습니다.

This work is financially supported by Korea Ministry of Environment (MOE) as Waste to energy Human resource development Project.

참고문헌

- Aga, E., E. Samoli, G. Touloumi, H. R. Anderson, E. Cadum, B. Forsberg, P. Goodman, A. Goren, F. Kotesovec, B. Kriz, M. Macarol-Hiti, S. Medina, A. Paldy, C. Schindler, J. Sunyer, P. Tittanen, B. Wojtyniak, D. Zmirou, J. Schwartz and K. Katsouyanni (2003). "Short-term effects of ambient particles on mortality in the elderly: results from 28 cities in the APHEA2 project." *European Respiratory Journal* 21(Supplement 40): 28S-33s.
- Bell, M. L., K. Ebisu, R. D. Peng, J. Walker, J. M. Samet, S. L. Zeger and F. Dominici (2008). "Seasonal and regional short-term effects of fine particles on hospital admissions in 202 US counties, 1999-2005." *Am J Epidemiol* 168(11): 1301-1310.
- C Arden Pope III, R. T. B., Michael J. Thun, Eugenia E. Calle (2002). "Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution." *American Medical Association* 287: 1132-1141.
- Chen, R., J. Cai, X. Meng, H. Kim, Y. Honda, Y. L. Guo, E. Samoli, X. Yang and H. Kan (2014). "Ozone and daily mortality rate in 21 cities of East Asia: how does season modify the association?" *Am J Epidemiol* 180(7): 729-736.
- Chit-Ming Wong, S. M., Anthony Johnson Hedley, and Tai-Hing Lam (2001). "Effect of Air Pollution on Daily Mortality in Hong Kong." *Environmental Health Perspectives* 109(4).
- Chit-Ming Wong, S. M., Anthony Johnson Hedley, and Tai-Hing Lam (2001). "effect of air pollution on daily mortality in hongkong." *Environmental Health Perspectives* 109(4).
- Gasparrini, A. and B. Armstrong (2010). "Time series analysis on the health effects of temperature: advancements and limitations." *Environ Res* 110(6): 633-638.
- Kan, H., S. J. London, G. Chen, Y. Zhang, G. Song, N. Zhao, L. Jiang and B. Chen (2008). "Season, sex, age, and education as modifiers of the effects of outdoor air pollution on daily mortality in Shanghai, China: The Public Health and Air Pollution in Asia (PAPA) Study." *Environ Health Perspect* 116(9): 1183-1188.
- Katsouyanni, K. (September 2001). "Confounding and Effect Modification in the Short-Term Effects of Ambient Particles on Total Mortality : Results from 29 European Cities within the APHEA2 Project." *EPIDEMIOLOGY* 12(5).
- Leitte, A. M., C. Petrescu, U. Franck, M. Richter, O. Suci, R. Ionovici, O. Herbarth and U. Schlink (2009). "Respiratory health, effects of ambient air pollution and its modification by air humidity in Drobeta-Turnu Severin, Romania." *Sci Total Environ* 407(13): 4004-4011.
- Long, W. (2007). "china the issue of residential air conditioning." *REVIEW ARTICLE*.
- Nastos, P. T. and A. Matzarakis (2006). "Weather impacts on respiratory infections in Athens, Greece." *Int J Biometeorol* 50(6): 358-369.
- Okhee Yi , Y.-C. H., Ho Kim (2010). "Seasonal effect of PM(10) concentrations on mortality and morbidity in Seoul, Korea: a temperature-matched case-crossover analysis." *Environ Res* 110(1): 89-95.

Park, A. K., Y. C. Hong and H. Kim (2011). "Effect of changes in season and temperature on mortality associated with air pollution in Seoul, Korea." *Journal of Epidemiology and Community Health* 65(4): 368-375.

Park, A. K., Y. C. Hong and H. Kim (2011). "Effect of changes in season and temperature on mortality associated with air pollution in Seoul, Korea." *J Epidemiol Community Health* 65(4): 368-375.

peng, R. D. (2008). "Coarse particulate matter air pollution and hospital admissions for cardiovascular and respiratory diseases among medicare patients." *JAMA* 299(18): 2172-2179.

Qiu, H., I. T. S. Yu, X. Wang, L. Tian, L. A. Tse and T. W. Wong (2013). "Season and humidity dependence of the effects of air pollution on COPD hospitalizations in Hong Kong." *Atmospheric Environment* 76: 74-80.

Sunyer, J. (2003). "The association of daily sulfur dioxide air pollution levels with hospital admissions for cardiovascular diseases in Europe (The Aphea-II study)." *European Heart Journal* 24(8): 752-760.

W.Dockery, D. (1993). "An Association between Air Pollution and Mortality in Six U.S. Cities." *The new england journal of medicine* 329(24).

Xu, X., J. Gao, D. W. Dockery and Y. Chen (1994). "Air pollution and daily mortality in residential areas of Beijing, China." *Arch Environ Health* 49(4): 216-222.

Yi, O., Y. C. Hong and H. Kim (2010). "Seasonal effect of PM(10) concentrations on mortality and morbidity in Seoul, Korea: a temperature-matched case-crossover analysis." *Environ Res* 110(1): 89-95.

Abstract

Seok-hyun Oh

Department of Biostatistics

Graduate School of Public Health

Seoul National University

<Back ground>

Epidemiological studies have found an association between air pollution and daily mortality. Some risk factors, such as age, gender, pre-existing disease and socioeconomic status, have been known to modify the effects of air pollution on health outcomes. Season and humidity can also modify the effects of air pollution on mortality. However, there are limited studies that investigate whether the effects of air pollution on mortality varied by season and humidity.

<Objective>

The aim of this study is to examine the effects of air pollution($PM_{10}(\mu g/m^3)$, $NO_2(ppb)$, $O_3(ppb)$, $SO_2(ppb)$) on mortality are modified by season and humidity in 3 Asia cities (Seoul(Korea), Shanghai(China), Tokyo(Japan)). We have three hypothesis. First, effects of air pollution on mortality are varied by season. Second, effects of air pollution on mortality are varied by humidity. Third, season and humidity might jointly modify the effects of air pollution on mortality.

<Materials and methods>

In this study, three types of data are used. Mortality data (daily non-accidental death), weather data (daily mean temperature, daily relative humidity) and pollutant data (PM_{10} , NO_2 , O_3 , SO_2). Generalized additive Poisson models with natural cubic spline for time and meteorology variables are used to estimate the effects of air pollution on mortality at the various levels of season and humidity.

The effect of each pollutant was then estimated for the same day and up to five days before the outcome (lag0, lag1, lag2, lag3, lag4 and lag5) and moving averages of up to five days (lag01, lag02, lag03, lag04 and lag05).

<Results>

In Seoul, the effects of PM_{10} and SO_2 on mortality are detrimental in humid summers. And the adverse effects of O_3 on mortality are significant in dry summers. The single lag effects of NO_2 on mortality are significant in dry summers but, moving average effects of NO_2 on mortality are highest during dry winters.

In Shanghai, the adverse effects of air pollution are large in winters on average. This is consistent with results of (Kan, London et al. 2008). Also, when we considered the humidity levels, we observed that effects of O_3 are more detrimental in dry winters and effects of PM_{10} are more detrimental in dry summers.

In Tokyo, except for O_3 , the adverse effects of air pollution on mortality are large during summers. But, O_3 shows the highest mortality effects in dry winters. The effects of O_3 on mortality are remarkable in comparison with the other air pollutions.

<Conclusion>

In this study, we used a commonly accepted method by adding interaction to estimate the pollution effects across seasons and humidity, and to study the possible joint modification of the season and humidity on the effects of air pollution. The results approved that season and humidity modify the effects of air pollution on mortality. The finding has important implications in assessing the health effects of air pollution, and developing strategies and policies of controlling and preventing pollution related mortality.

Key word : Season, Humidity, Non accidental death, Air pollution

Student number : 2013-21868